

B4

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
 INSTITUT NATIONAL  
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
 PARIS

(11) N° d publication :  
 (à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

2 766 998

(21) N° d'enregistrement national :

98 09855

(51) Int Cl<sup>6</sup> : H 04 B 10/24, H 04 B 10/18

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 31.07.98.

(30) Priorité : 31.07.97 JP 20632097.

(71) Demandeur(s) : KOKUSAI DENSHIN DENWA  
KABUSHIKI KAISHA — JP.

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.02.99 Bulletin 99/05.

(72) Inventeur(s) : YAMAMOTO SHU, TAGA HIDENORI,  
SUZUKI MASATOSHI, EDAGAWA NOBORU et AKIBA  
SHIGEYUKI.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.

(73) Titulaire(s) :

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

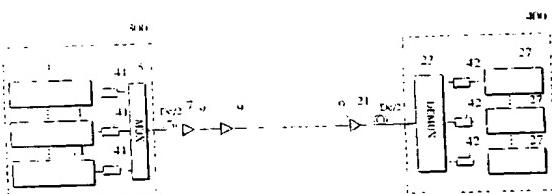
(74) Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

## (54) SYSTEME DE TRANSMISSION OPTIQUE A MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE.

(57) L'invention concerne la transmission optique avec multiplexage en longueur d'onde.

Elle se rapporte à un système qui comprend un câble bidirectionnel ayant deux fibres optiques et comprenant plusieurs segments, une première fibre optique (7) ayant une amplitude de compensation égale à la moitié de la dispersion d'un segment du câble, une seconde fibre optique (9) ayant une amplitude de compensation égale à la moitié de la dispersion d'un segment du câble, une unité (300) à émetteur à compensation de dispersion chromatique, et une unité (400) à récepteur à compensation de dispersion chromatique, destinées à compenser les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur.

Application aux câbles sous-marins de communications.



FR 2 766 998 - A1



La présente invention concerne un système de transmission optique multiplié en longueur d'onde (WDM) dans lequel plusieurs bandes de longueurs d'onde sont multiplexées et transmises bidirectionnellement le long d'une paire de fibres optiques.

Ces dernières années, les systèmes de transmission à répéteurs amplificateurs mettant en oeuvre des signaux optiques WDM ont été très utilisés dans les systèmes de transmission à fibre optique. Ceci est dû au fait que les signaux optiques WDM, qui comprennent plusieurs bandes de longueurs d'onde multiplexées (canaux), peuvent être amplifiés en une seule opération simple par des répéteurs amplificateurs optiques ayant des amplificateurs à fibre optique.

En particulier, des systèmes de transmission de signaux optiques WDM de densité élevée sur de longues distances mettent en oeuvre un procédé de réduction des effets du mélange de quatre ondes (FWM, aussi appelé "mélange de quatre photons"), provoqués par le défaut de linéarité du troisième ordre de la fibre optique, et des combinaisons de différentes longueurs d'onde. Selon ce procédé, des fibres optiques à dispersion positive sont insérées périodiquement le long des fibres optiques de transmission afin qu'elles compensent la dispersion négative cumulée des fibres optiques de transmission et empêchent ainsi la distorsion des signaux provoquée par la dispersion cumulée, tout en assurant l'obtention d'une dispersion chromatique des fibres optiques de transmission non nulle dans les bandes de longueurs d'onde des signaux. En conséquence, la valeur cumulée de la dispersion totale est approximativement nulle, et il n'existe aucune accumulation locale de dispersion nulle.

Cependant, la dispersion chromatique des fibres optiques varie en longueur d'onde pour une dispersion d'ordre supérieur. En conséquence, la dispersion cumulée en longueur d'onde à la longueur d'onde centrale des bandes de longueurs d'onde multiplexées peut par exemple être telle qu'indiqué sur la figure 1. Sur la figure 1, par rapport à

la longueur d'onde centrale  $\lambda_b$ , qui présente une dispersion de segment  $D_c$ , la longueur d'onde plus grande (maximale)  $\lambda_a$  présente une dispersion cumulée positive  $D_y$  (ps/nm) donnant une dispersion  $D_y - D_c$ , alors que la dispersion  $D_x$  (ps/nm) à la longueur d'onde plus courte (minimale) est cumulée négativement et donne une dispersion  $-D_x - D_c$ .

La figure 2 est un diagramme synoptique représentant une configuration schématique de compensation de la dispersion cumulée dans le système classique de transmission optique WDM. Le système classique de transmission optique WDM a plusieurs émetteurs optiques 1, et un multiplexeur 5 (MUX) qui combine (multiplexe) plusieurs bandes différentes de longueurs d'onde transmises par les émetteurs optiques 1. Les émetteurs optiques comprennent des émetteurs optiques 1 qui transmettent des signaux optiques dans les bandes des longueurs d'onde minimale, centrale et maximale. Le système de transmission a en outre un démultiplexeur 23 (DEMUX), plusieurs récepteurs optiques 27 et plusieurs fibres optiques à compensation de dispersion DCOF 31, 32, 33. La fibre DCOF 31 a une amplitude de dispersion de compensation  $D_x + D_c$ , la fibre DCOF 32 a une amplitude de dispersion de compensation  $D_c$  et la fibre DCOF 33 a une amplitude de dispersion de compensation égale à  $-D_x + D_c$ . Le câble bidirectionnel à fibre optique représenté sur la figure 2 comporte une paire de fibres optiques et le câble a plusieurs segments. Sur la figure 2, plusieurs amplificateurs 9 incorporés à la ligne (répéteurs amplificateurs optiques) sont aussi représentés sous forme insérée périodiquement dans le câble à fibre optique.

Comme l'indique la figure 2, pour que la dispersion cumulée globale soit nulle, les signaux des bandes respectives de longueurs d'onde sont d'abord séparés par un démultiplexeur 23. Ensuite, les fibres à compensation de dispersion 31, 32, 33, dont les dispersions de compensation sont contraires aux dispersions cumulées, sont insérées, la longueur des fibres de compensation insérées étant choisie afin qu'elle suffise approximativement pour la compensation de la dispersion du segment  $D_c$ . De cette manière, il est

possible d'obtenir un compensateur de dispersion qui compense les différentes dispersions cumulées de la manière nécessaire.

Par exemple, lorsque des signaux WDM sont transmis dans la bande de longueurs d'onde de  $1,55 \mu\text{m}$ , la dispersion cumulée résultant de la dispersion d'ordre élevé et de la variation de la longueur d'onde avec le matériau de la fibre est négative pour des bandes de longueurs d'onde inférieures à la longueur d'onde centrale  $\lambda_b$ , à laquelle la dispersion cumulée est nulle. En conséquence, comme une fibre optique à dispersion nulle dans une bande de longueurs d'onde de  $1,3 \mu\text{m}$  présente une dispersion positive d'environ  $17 \text{ ps/km.nm}$  dans la bande de longueurs d'onde de  $1,55 \mu\text{m}$ , cette fibre optique a été utilisée comme fibre de compensation DCOF pour la compensation de la dispersion négative.

Au contraire, pour les bandes de longueurs d'onde supérieures à la longueur d'onde centrale  $\lambda_b$ , la dispersion cumulée qui dépend de la variation de la longueur d'onde avec le matériau de la fibre et de la dispersion d'ordre supérieur est positive. En conséquence, une fibre optique ayant une dispersion négative dans la bande de longueurs d'onde de  $1,55 \mu\text{m}$  a été utilisée comme fibre de compensation de la dispersion positive.

Plus précisément, par exemple, lorsque des câbles sous-marins optiques océaniques de grande longueur utilisant la transmission WDM ont la configuration précitée, les fibres de compensation DCOF deviennent obligatoirement extrêmement longues car le nombre de bandes de longueurs d'onde multiplexées augmente.

Par exemple, dans une transmission WDM avec vingt bandes de longueurs d'onde sur  $9\ 000 \text{ km}$  à des intervalles de longueur d'onde de  $0,6 \text{ nm}$ , lorsque la dispersion d'ordre supérieur est égale à  $0,1 \text{ ps/km.nm}$ , le signal à la longueur d'onde minimale nécessite à peu près  $500 \text{ km}$  de fibres DCOF à dispersion nulle à  $1,3 \mu\text{m}$ , même après compensation de la dispersion de la ligne de transmission à la longueur d'onde centrale.

La figure 3 est un diagramme synoptique représentant une autre configuration de compensation de la dispersion cumulée dans un système classique de transmission optique WDM. Comme l'indique la figure 3, une fibre DCOF 34 correspondant à la dispersion d'un segment  $D_c$  est insérée dans la ligne de transmission du côté du récepteur du câble de transmission.

Cependant, comme l'indique la figure 4, dans un système réel de communications, la ligne de transmission optique est formée de fibres optiques bidirectionnelles le long des quelles les signaux optiques sont transmis de manière bidirectionnelle. En d'autres termes, le câble optique contient une paire de fibres optiques. Dans le système où une fibre DCOF 34 correspondant à la compensation de dispersion d'un segment est insérée du côté du récepteur du câble de transmission (c'est-à-dire de la paire de fibres optiques) comme décrit précédemment, lors de la transmission dans le sens opposé, un câble à compensation de dispersion doit être connecté du côté de l'émetteur, si bien que la symétrie bidirectionnelle est perdue.

Cette accumulation asymétrique de dispersion risque en particulier de provoquer une disparité des caractéristiques de transmission entre les deux sens de transmission dans les systèmes de grande longueur. En conséquence, dans les systèmes classiques, l'unité réceptrice contient des fibres DCOF 35 ayant une longueur suffisante pour compenser le segment final de compensation de dispersion de la ligne de transmission. En conséquence, la compensation de dispersion au niveau de l'unité réceptrice doit être réalisée sur la somme de l'amplitude de compensation de la dispersion chromatique, provoquée par la différence des longueurs d'onde et la dispersion d'ordre élevé en longueur d'onde, et de l'amplitude de dispersion compensée dans un segment de compensation de dispersion de la ligne de transmission. Cette disposition a l'inconvénient de nécessiter une fibre DCOF d'galisation de dispersion, pour le récepteur, de longueur extrêmement grande.

En outre, comme le représente la figure 5, un autre procédé a été proposé dans lequel la longueur des fibres optiques d'égalisation de dispersion est réduite. Sur la figure 5, des fibres DCOF 31 du côté du récepteur de la 5 figure 2 sont divisées respectivement en deux parties 38 et 37. Les parties 38 qui ont une dispersion  $(1 - m)D_x$  sont insérées du côté de l'émetteur et la partie 37 ayant une dispersion  $(mD_x + D_c)$  est introduite du côté du récepteur. Dans ce procédé, pour la compensation de l'écart de dispersion provoqué par la différence de longueur d'onde avec la dispersion en longueur d'ordre d'ordre supérieur, des fibres 10 DCOF 38 ayant 50 % environ ( $m = 0,5$ ) de la compensation de dispersion par rapport à l'écart de dispersion à chaque longueur d'onde sont insérées du côté de l'émetteur. La 15 figure 6 représente la dispersion cumulée en longueur d'onde à la longueur d'onde centrale à cet emplacement. Comme l'indique la figure 6, la configuration de la figure 5 améliore les caractéristiques de transmission.

Cependant, même avec la configuration de la figure 5 réalisée dans un système de communications réelles d'ondes lumineuses transmises bidirectionnellement le long de fibres 20 optiques, l'unité réceptrice doit contenir des fibres DCOF 37 pour un segment de compensation de dispersion de la ligne de transmission du côté du récepteur pour maintenir la 25 symétrie de la ligne de transmission.

Dans la configuration classique du système de transmission optique décrit précédemment, l'unité réceptrice doit contenir une fibre DCOF 37 pour le dernier segment de compensation de dispersion de la ligne de transmission. En 30 outre, chaque bande de longueurs d'onde nécessite une fibre DCOF pour compenser la dispersion résiduelle cumulée des bandes de longueurs d'onde.

La présente invention a été réalisée après prise en considération des points précités et elle a pour objet la 35 réalisation d'un système de transmission optique WDM dans lequel les longueurs des fibres DCOF insérées dans les unités émettrice et réceptrice peuvent être réduites et les caractéristiques de transmission peuvent être accrues.

A cet effet, un premier aspect de la présente invention concerne un système de transmission optique à multiplexage en longueur d'onde (WDM) destiné à transmettre bidirectionnellement plusieurs signaux optiques ayant différentes bandes de longueurs d'onde. Le système de transmission optique WDM du premier aspect comprend un câble bidirectionnel à fibre optique, une première fibre optique à compensation de dispersion (DCOF) connectée à une première extrémité du câble à fibre optique, une seconde fibre DCOF connectée à une autre extrémité du câble à fibre optique, une unité à émetteur à compensation de dispersion chromatique et une unité à récepteur à compensation de dispersion chromatique. Le câble bidirectionnel à fibre optique comporte deux fibres optiques et le câble à fibre optique comporte plusieurs segments. La première fibre DCOF connectée à une première extrémité du câble a une amplitude de compensation égale à la moitié de la dispersion d'un segment du câble. La seconde fibre DCOF connectée à l'autre extrémité du câble a une amplitude de compensation égale à la moitié de la dispersion d'un segment du câble à fibre optique. L'unité d'émetteur à compensation de dispersion chromatique compense les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à chaque longueur d'onde des signaux. En outre, l'unité réceptrice à compensation de dispersion chromatique compense les dispersions chromatiques résiduelles cumulées dues à la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à chaque longueur d'onde du signal. L'unité à émetteur à compensation de dispersion chromatique peut avoir plusieurs émetteurs optiques, un multiplexeur combinant plusieurs bandes différentes de longueurs d'onde et plusieurs compensateurs de dispersion chromatique. L'unité à récepteur à compensation de dispersion chromatique peut comporter un démultiplexeur, plusieurs récepteurs optiques et plusieurs compensateurs de dispersion chromatique.

Dans un premier aspect de l'invention, une fibre DCOF destinée à compenser la dispersion d'un segment de la ligne

de transmission, qui est normalement disposé périodiquement dans le câble à fibre optique, est divisée en deux parties et est connectée aux deux extrémités du câble bidirectionnel à fibre optique sous forme de la première et de la seconde fibre DCOF. En outre, les fibres DCOF de compensation de l'écart de dispersion chromatique provoqué par la différence de longueur d'onde et la dispersion d'ordre supérieur, sont divisées et insérées dans les unités d'émetteur et de récepteur à compensation de dispersion chromatique. Il n'existe pas de pertes de symétrie dans un système bidirectionnel de transmission. En d'autres termes, selon le système de transmission optique WDM de l'invention, les longueurs des fibres DCOF des unités d'émetteur et de récepteur à compensation de dispersion chromatique peuvent être raccourcies et permettent une réduction de l'échelle du système de transmission optique WDM qui est ainsi rendue rentable avec amélioration des caractéristiques de transmission.

Un second aspect de la présente invention concerne aussi un système de transmission optique WDM destiné à transmettre bidirectionnellement plusieurs signaux optiques ayant des bandes différentes de longueurs d'onde. Ce système de transmission du second aspect comprend un câble bidirectionnel à fibre optique, une fibre DCOF connectée à une première extrémité du câble, une moitié du segment du câble connectée à une première extrémité du câble par la fibre DCOF, une unité d'émetteur à compensation de dispersion chromatique et une unité de réception à compensation de dispersion chromatique. La moitié du segment du câble peut être retirée de l'autre extrémité du câble. Le câble bidirectionnel à fibre optique a deux fibres optiques et le câble a plusieurs segments. La fibre DCOF a une amplitude de compensation de la dispersion d'un segment du câble. L'unité d'émetteur à compensation de dispersion chromatique compense les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre élevé du câble à chaque longueur d'onde des signaux. En outre, l'unité à récepteur à compensation de dispersion chromatique compense les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées

par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à chaque longueur d'onde des signaux. L'unité à émetteur à compensation de dispersion chromatique peut avoir plusieurs émetteurs optiques, un multiplexeur qui combine plusieurs bandes différentes de longueur d'onde et plusieurs compensateurs de dispersion chromatique. L'unité à récepteur à compensation de dispersion chromatique peut comporter un démultiplexeur, plusieurs récepteurs optiques et plusieurs compensateurs de dispersion chromatique.

Dans le second aspect de l'invention, il n'existe pas de perte de symétrie dans un système bidirectionnel de transmission. En d'autres termes, dans le système de transmission optique WDM du second aspect, les longueurs des fibres DCOF dans les unités d'émetteur et de récepteur à compensation de dispersion chromatique peuvent être réduites si bien que l'échelle du système de transmission optique WDM peut être réduite et le système peut être rendu rentable, avec augmentation des caractéristiques de transmission.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre d'exemples de réalisation, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 est un graphique représentant la dispersion cumulée en longueur d'onde à chaque longueur d'onde lorsque des bandes de longueurs d'onde sont multiplexées dans un système classique de transmission optique WDM ;

la figure 2 est un diagramme synoptique d'une configuration schématique de compensation de la dispersion cumulée dans un système classique de transmission optique WDM ;

la figure 3 est un diagramme synoptique d'une autre configuration de compensation de la dispersion cumulée dans un système classique de transmission optique WDM ;

la figure 4 est un schéma de la configuration d'une ligne de transmission optique bidirectionnelle dans un système réel de communications ;

la figure 5 est un diagramme synoptique d'une autre configuration de compensation de la dispersion cumulée dans un système classique de transmission optique WDM ;

la figure 6 est un graphique représentant la dispersion cumulée en longueur d'onde à chaque longueur d'onde lorsque des bandes de longueurs d'onde sont multiplexées dans un système classique de transmission optique WDM représenté sur 5 la figure 5 ;

la figure 7 est un diagramme représentant la configuration fondamentale d'un système de transmission optique WDM selon la présente invention ;

10 la figure 8 est un diagramme synoptique représentant la configuration d'un système de transmission optique WDM dans un premier mode de réalisation de l'invention ;

15 la figure 9 est un diagramme synoptique représentant un exemple préliminaire des compensateurs de dispersion chromatique incorporés au système de transmission optique WDM représenté sur la figure 8 ;

20 la figure 10 est un graphique représentant la dispersion cumulée en longueur d'onde à chaque longueur d'onde lorsque les bandes de longueurs d'onde sont multiplexées dans le système de transmission optique WDM représenté sur la figure 9 ;

la figure 11 est un diagramme synoptique d'un système de transmission optique WDM dans un premier mode de réalisation de la présente invention ;

25 la figure 12 est un graphique représentant la dispersion cumulée en longueur d'onde à chaque longueur d'onde lorsque les bandes de longueurs d'onde sont multiplexées dans les systèmes de transmission optique WDM représentés sur la figure 11 ;

30 la figure 13 est un graphique représentant le résultat d'une simulation indiquant la relation entre les rapports de division et les facteurs Q, le rapport de division étant défini comme étant le rapport de l'amplitude de compensation de la fibre DCOF introduite du côté de l'émetteur à l'amplitude totale de compensation ;

35 la figure 14 est un graphique permettant la comparaison des longueurs totales des fibres optiques de compensation de dispersion nécessaires dans une unité terminale ;

la figure 15A est un diagramme synoptique de la configuration schématique d'un système de transmission optique WDM selon une variante du premier mode de réalisation ;

5 la figure 15B est un schéma représentant le câble à fibre optique ayant plusieurs segments utilisés dans le système de transmission optique WDM représenté sur la figure 15 ;

10 la figure 15C est un graphique représentant la relation entre la dispersion cumulée en longueur d'onde, à la longueur d'onde centrale, et les segments représentés sur la figure 15B ;

15 la figure 16 est un graphique représentant la dispersion cumulée en longueur d'onde à chaque longueur d'onde lorsque les bandes de longueurs d'onde sont multiplexées dans le système de transmission optique WDM de la figure 15A ;

20 la figure 17 est un diagramme synoptique représentant une unité à émetteur à compensation de dispersion chromatique dans un second mode de réalisation de la présente invention ; et

25 la figure 18 est un diagramme synoptique d'un exemple d'unité à récepteur à compensation de dispersion chromatique dans un second mode de réalisation de la présente invention.

Il faut noter que, dans les divers modes de réalisation de l'invention décrits en référence aux dessins annexés, les références numériques identiques ou analogues désignent des parties et éléments identiques ou analogues, et la description des éléments ou parties identiques ou analogues est 30 omise ou simplifiée.

La figure 7 représente une configuration fondamentale de la présente invention appartenant à un système de transmission optique WDM destiné à transmettre bidirectionnellement plusieurs signaux optiques ayant des bandes différentes de longueurs d'onde (canaux). Le système de transmission optique WDM représenté sur la figure 7 comprend un câble à fibre optique bidimensionnelle, une première fibre DCOF 7 connectée à une première extrémité du câble à

fibre optique, une seconde fibre DCOF 21 connectée à une autre extrémité du câble à fibre optique, une unité 300 à émetteur à compensation de dispersion chromatique et une unité 400 à récepteur à compensation de dispersion chromatique. Le câble bidirectionnel à fibre optique a deux fibres optiques. En outre, le câble à fibre optique comporte plusieurs segments comme indiqué sur la figure 4. Sur la figure 7, plusieurs amplificateurs 9 incorporés à la ligne ou des répéteurs amplificateurs optiques 9 sont insérés 5 périodiquement dans le câble. La première fibre DCOF 7 est connectée à une première extrémité du câble et à une amplitude de compensation de la moitié de la dispersion d'un segment  $D_c$  du câble à fibre optique. La seconde fibre DCOF 21 est connectée à l'autre extrémité du câble et à une amplitude de compensation de la moitié de la dispersion d'un 10 segment  $D_c$  du câble. L'unité 300 à émetteur compense les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à chaque longueur d'onde des signaux. En outre, l'unité 400 15 à récepteur compense les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre élevé du câble à chaque longueur d'onde des signaux.

Dans la configuration fondamentale de l'invention 20 représentée sur la figure 7, une fibre DCOF destinée à la compensation de la dispersion d'un segment de la ligne de transmission, qui est normalement disposée périodiquement dans le câble, est divisée en deux fibres auxiliaires DCOF et ces fibres sont connectées aux deux extrémités du câble 25 bidirectionnel sous forme de la première fibre DCOF 7 et de la seconde fibre DCOF 21. En outre, des compensateurs destinés à compenser l'écart de dispersion chromatique provoqué par la différence de longueur d'onde et la dispersion d'ordre élevé, sont divisés et insérés dans l'unité 300 à émetteur et l'unité 400 à récepteur à compensation de dispersion chromatique. Il n'existe aucune perte de symétrie 30 dans un système bidirectionnel de transmission. En d'autres termes, dans le système de transmission optique WDM selon

l'invention, les longueurs des fibres DCOF utilisées comme compensateur de la dispersion chromatique dans les unités à émetteur et récepteur peuvent être raccourcies si bien que l'échelle du système de transmission optique WDM peut être réduite et sa rentabilité est accrue avec amélioration des caractéristiques de transmission.

#### Premier mode de réalisation

On décrit maintenant un premier mode de réalisation de l'invention en référence aux dessins. La figure 8 représente des détails de l'unité 300 à émetteur et de l'unité 400 à récepteur à compensation de dispersion chromatique dans le système de transmission optique WDM de la figure 7, dans un premier mode de réalisation de l'invention. L'unité 300 à émetteur à compensation de dispersion chromatique a plusieurs émetteurs optiques 1, un multiplexeur 5 qui combine (multiplexe) plusieurs bandes différentes de longueurs d'onde et plusieurs compensateurs 41 de dispersion chromatique. L'unité 400 à récepteur à compensation de dispersion chromatique possède un démultiplexeur 23, plusieurs récepteurs optiques 27 et plusieurs compensateurs 42 de dispersion chromatique. Le câble bidirectionnel à fibre optique représenté sur la figure 8 possède deux fibres optiques, et le câble a plusieurs segments. Sur la figure 8, plusieurs amplificateurs 9 incorporés à la ligne (répéteur amplificateur optique) sont aussi représentés sous forme insérée périodiquement dans le câble à fibre optique.

La figure 9 représente une structure des compensateurs 41, 42 de compensation chromatique à titre d'exemple préliminaire. Comme l'indique la figure 9, une fibre DCOF correspondant à la dispersion  $D_c$  d'un segment du câble est divisée afin qu'elle forme une première fibre DCOF 7 et une seconde fibre DCOF 21. Les fibres DCOF 7 et 21 qui ont un amplitude de dispersion  $D_c/2$  sont connectées respectivement aux deux extrémités du câble. Les fibres DCOF 25 du côté du récepteur sont combinées à d'autres fibres DCOF ayant une amplitude de dispersion égale à  $mD_x + D_c/2$ . Les fibres DCOF 3 du côté de l'émetteur sont formées avec un amplitude de dispersion  $(1 - m)D_x - D_c/2$ . Les fibres ainsi combinées 3, 25

sont insérées du côté de l'émetteur et du côté du récepteur respectivement et la longueur de la fibre DCOF 3 de l'unité 300 à émetteur peut être raccourcie. En outre, comme l'indique la figure 10, il n'existe pas de perte de la 5 symétrie bidirectionnelle de la ligne de transmission.

Comme l'indique la figure 9, lors de la production du même état que sur la figure 6 avec une configuration selon l'invention, la longueur des fibres DCOF 3 de l'unité 300 à émetteur peut être réduite de 50 % de la dispersion d'un 10 segment  $D_c$  du câble dans les bandes de longueurs d'onde inférieures à la longueur d'onde centrale dont la dispersion est rendue égale à zéro. La longueur des fibres DCOF 25 dans l'unité 400 à récepteur doit être accrue de  $D_c/2$ .

Au contraire, pour les plus grandes bandes de longueurs 15 d'onde, la longueur des fibres DCOF dans l'unité 300 à émetteur augmente et celle de l'unité 400 à récepteur diminue. La figure 10 représente l'accumulation de dispersion à chaque longueur d'onde. Ainsi, dans ce procédé, dans le cas où par exemple la ligne de transmission a une 20 dispersion positive, la fibre DCOF des bandes de longueurs d'onde qui cumulent la dispersion positive doit être plus longue que dans le cas où des fibres DCOF de correction de la dispersion négative ne sont pas incorporées à la ligne de transmission.

25 Comme l'indique la figure 11, par distribution uniquement des fibres DCOF 3, 25 qui compensent la dispersion résiduelle cumulée  $D_x$  provoquée par la dispersion d'ordre supérieur du côté de l'unité 300 à émetteur et du côté de l'unité 400 à récepteur, la longueur des fibres DCOF peut 30 être réduite de manière fiable de la longueur de compensation de la dispersion d'un segment de la ligne de transmission (figure 12).

Comme l'indique la figure 11, les fibres DCOF 7, 21 ayant 50 % de l'amplitude de compensation de la dispersion 35 d'un segment  $D_c$  de la ligne de transmission sont distribuées et raccordées aux deux extrémités du câble de transmission. L'expression "amplitude de compensation de dispersion d'un segment  $D_c$ " désigne l'amplitude de compensation de dispersion

d'un segment de la ligne de transmission. Cette disposition assure la symétrie bidirectionnelle le long de la ligne de transmission. En outre, l'écart de dispersion résultant de la différence de longueur d'onde et de la dispersion d'ordre 5 supérieur est aussi réparti entre les côtés de l'émetteur et du récepteur. En conséquence, l'amplitude d'égalisation de dispersion aux côtés de l'émetteur et du récepteur correspond uniquement à l'écart de la dispersion provoqué par la différence de longueur d'onde qui doit être compensée.

10 La figure 12 représente la dispersion cumulée dans la configuration représentée sur la figure 11. Dans cette configuration, la longueur d'onde centrale, lorsque la dispersion cumulée est nulle, ne nécessite pas une égalisation des dispersions aux côtés de l'émetteur et du 15 récepteur.

La figure 13 représente la simulation par un calculateur obtenue lorsqu'un signal à 10,66 Gb/s est multiplexé dans dix bandes de longueurs d'onde et est transmis sur 9 000 km. Les valeurs du facteur Q en décibels indiquant les 20 performances de transmission ont été calculées pour des "rapports de division", et les facteurs Q sont indiqués pour les bandes des longueurs d'onde minimale, centrale et maximale. Le "rapport de division" est défini comme étant le rapport des "amplitudes divisées de compensation de dispersion insérées du côté de l'émetteur" et de "la somme de 25 l'amplitude  $D_c$  de compensation de dispersion d'un segment et de l'amplitude de compensation de la dispersion résiduelle cumulée". La compensation de dispersion résiduelle cumulée est l'amplitude de compensation pour toutes les bandes de 30 longueurs d'onde résultant de la dispersion d'ordre supérieur. Comme l'indique la figure 13, pour toutes les bandes de longueurs d'onde, les caractéristiques de transmission étaient optimales lorsque les rapports de division étaient égaux à 0,5.

35 Au contraire, la flèche "a" de la figure 13 représente le rapport de division des amplitudes de compensation introduites du côté de l'émetteur en fonction de l'amplitude de dispersion résiduelle cumulée, ou l'écart de dispersion

provoqué par la différence de longueur d'onde, déjà indiqué sur les figures 5 et 6, sur lesquelles 50 % de l'écart de la dispersion provoqué par la différence de longueur d'onde a été divisé du côté de l'émetteur. Ainsi, si on suppose une 5 amplitude de compensation de dispersion d'un segment  $D_c = 2\ 000$ , l'amplitude de compensation de dispersion résiduelle cumulée est égale à 3 600, le rapport de division est donné par  $1\ 800/(2\ 000 + 3\ 600) = 0,32$ . Pour la longueur d'onde centrale, le rapport de division est donné par 10  $0/(2\ 000 + 0) = 0$ . La flèche "b" de la figure 13 indique le rapport de division pour la longueur d'onde centrale : le rapport de division "0" indique que toute la dispersion a été compensée du côté du récepteur. Bien que les valeurs du rapport de division supérieures à 0,8 ne soient pas 15 indiquées sur la figure 13, la flèche indiquant que le rapport de division pour la longueur d'onde maximale, à laquelle 50 % de l'écart de dispersion provoqué par la différence de longueur d'onde a été divisé et inséré du côté de l'émetteur, était d'environ 1,1. Ceci est dû à l'amplitude 20 de compensation de dispersion résiduelle cumulée négative à la longueur d'onde maximale. Plus précisément, le rapport de division est donné sous la forme :  $-1\ 800/(2\ 000 - 3\ 600) = 1,125$ . On a calculé un facteur Q de 17 dB pour le rapport de division. Lorsque la valeur suivant 25 l'axe horizontal est de l'ordre de 0,5, le facteur Q calculé est de 20 à 21 dB pour la longueur d'onde maximale.

D'après la description qui précède, on peut comprendre que la configuration selon l'invention donne de meilleures caractéristiques de transmission.

30 La figure 14 permet la comparaison du mode de réalisation considéré et des techniques antérieures illustrées sur les figures 2 et 5 pour la longueur totale de compensation des fibres optiques nécessaires dans les conditions suivantes :

35       dix bandes de longueurs d'onde (canaux)  
          intervalles de longueurs d'onde de 0,8 nm  
          longueur d'onde minimale 1 548,8 nm  
          longueur d'onde centrale 1 552,8 nm

longueur d transmission 9 000 km  
dispersion moyenne d'ordre supérieur 0,1 ps/km.nm.

On a supposé qu'on a utilisé une fibre optique à dispersion de 17 ps/km.nm à 1,3 μm, lorsque la dispersion cumulée était 5 négative, et on a utilisé une fibre optique d'égalisation de dispersion de -80 ps/km.nm lorsque la dispersion cumulée était positive. Comme l'indique clairement la figure 14, dans la configuration du premier mode de réalisation, les longueurs des fibres optiques d'égalisation de dispersion 10 insérées dans les émetteurs et les récepteurs peuvent être réduites.

Ensuite, en référence à la figure 14, on décrit une comparaison entre les longueurs des fibres DCOF des exemples de la technique antérieure et du mode de réalisation 15 considéré.

D'abord, à titre de description générale, on exprime par les équations suivantes la longueur totale de fibre optique d'égalisation nécessaire à une station terminale pour n canaux multiplexés.

20 On appelle  $D$  l'écart de dispersion provoqué par la différence de longueur d'onde et la dispersion d'ordre supérieur présentée à la longueur d'onde des signaux  $\lambda_i$  après propagation sur une longueur  $L$  (km). On a alors

$$D = m_d \cdot (\lambda_0 - \lambda_1) \cdot L \quad (1)$$

25  $m_d$  étant le coefficient de dispersion d'ordre supérieur et  $\lambda_0$  la longueur d'onde à laquelle la fibre DCOF produit une dispersion nulle dans la ligne de transmission. En outre, lorsque  $D_c$  désigne la dispersion d'un segment de la ligne de transmission, la dispersion totale à compenser sur la figure 30 2 est

$$D_T = D + D_c = m_d \cdot (\lambda_0 - \lambda_1) \cdot L + D_c \quad (2)$$

D'abord, on détermine les longueurs des fibres DCOF correspondant aux canaux  $i = 1$  à  $n$  dans l'exemple de la technique antérieure de la figure 2. Pour les canaux  $i = 1$  à  $k$  dans 35 lesquels la dispersion totale  $D_T \geq 0$ , la longueur de la fibre optique nécessaire est donnée par la relation :

$$[m_d \cdot (\lambda_0 - \lambda_1) L + D_c] / D_+ \quad (3)$$

D<sub>+</sub> étant la valeur absolue du coefficient de dispersion pour la fibre DCOF à dispersion positive. Pour les canaux i = k + 1 à n pour lesquels la dispersion totale D<sub>T</sub> < 0, la longueur de la fibre optique nécessaire est donnée par la relation :

$$[m_d \cdot |\lambda_0 - \lambda_1| \cdot L - D_c] / D_+ \quad (4)$$

D<sub>-</sub> étant la valeur absolue du coefficient de dispersion pour une fibre DCOF à dispersion négative.

Sur la figure 6, lorsque les côtés d'émetteur et de récepteur sont tous deux compensés de 50 % de l'écart de dispersion résultant de la différence de longueur d'onde et de la dispersion d'ordre supérieur, l'amplitude de la dispersion à compenser du côté d'émetteur est donnée par la relation

$$D_t = (1/2)m_d \cdot (\lambda_0 - \lambda_1) \cdot L \quad (5)$$

L'amplitude de dispersion à compenser du côté du récepteur est alors :

$$D_r = (1/2)m_d \cdot (\lambda_0 - \lambda_1) \cdot L + D_c \quad (6)$$

La somme des longueurs des fibres DCOF aux côtés de l'émetteur et du récepteur pour tous les canaux peut être déterminée de la manière suivante. Pour les canaux i = 1 à 1, lorsque la dispersion du côté d'émetteur D<sub>t</sub> ≥ 0, l'équation (3) est respectée. Pour les canaux i = 1 + 1 à 1 + m, lorsque la dispersion du côté d'émetteur D<sub>t</sub> < 0 et la dispersion du côté de récepteur D<sub>r</sub> ≥ 0, la longueur de la fibre optique nécessaire est donnée par la relation :

$$(1/2)m_d \cdot |\lambda_0 - \lambda_1| \cdot L / D_- + [(1/2)m_d \cdot |\lambda_0 - \lambda_1| \cdot L + D_c] / D_+ \quad (7)$$

et l'équation (4) est respectée pour les canaux i = 1 + m + 1 à n, lorsque la dispersion du côté du récepteur est D<sub>r</sub> < 0.

On détermine maintenant les longueurs des fibres optiques nécessaires à la compensation de dispersion aux côtés d'émetteur et de récepteur à chaque longueur d'onde du premier mode de réalisation représenté sur la figure 12. Pour les canaux i = 1 à 1, pour lesquels la dispersion du côté de l'émetteur est D<sub>t</sub> ≥ 0, la longueur de la fibre optique nécessaire est donnée par la relation

$$[m_d \cdot (\lambda_0 - \lambda_1) \cdot L] / D_+ \quad (8)$$

et, pour les canaux  $i = 1 + 1 à n$ , lorsque la dispersion du côté de l'émetteur est  $D_t < 0$ , la longueur de la fibre optique nécessaire est donnée par la relation :

$$[m_d \cdot |\lambda_0 - \lambda_i| \cdot L] / D_- \quad (9)$$

5 On compare maintenant les longueurs globales des fibres DCOF nécessaires dans l'exemple de la technique antérieure et dans le premier mode de réalisation. D'abord, on sous-tractrait la longueur de la fibre totale DCOF de la figure 11 de la longueur de la fibre totale DCOF de la figure 2. Comme la 10 dispersion dans un segment est  $D_c \geq 0$  et  $l \geq k$ , la différence  $\Delta$  entre ces longueurs peut être exprimée par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} 15 \quad \Delta &= \sum_{i=1+1}^k m_d \cdot |\lambda_0 - \lambda_i| \cdot (1/D_+ - 1/D_-) + D_c / D_+ \cdot k - D_c / D_- \cdot (n - 1) \\ &= \sum_{i=1+1}^k m_d \cdot |\lambda_0 - \lambda_i| \cdot (1/D_+ - 1/D_-) + D_c / D_+ \cdot [k - (n - 1)] \quad (10) \end{aligned}$$

Ensuite, la différence par rapport à l'exemple de la technique antérieure ou la différence  $\Delta$  entre la longueur totale de fibre DCOF de la figure 12 et la longueur totale de fibre DCOF de la figure 6 devient :

$$\begin{aligned} 25 \quad \Delta &= \sum_{i=1+1}^k m_d \cdot |\lambda_0 - \lambda_i| \cdot (1/D_+ - 1/D_-) + D_c / D_+ \cdot (1+m) - D_c / D_- \cdot [n - (1+m)] \\ &= \sum_{i=1+1}^k m_d \cdot |\lambda_0 - \lambda_i| \cdot (1/D_+ - 1/D_-) + D_c / D_+ \cdot [(1+m) - (n - (1+m))] \quad (11) \end{aligned}$$

Pour l'accumulation de la dispersion négative, la dispersion  $D_+$  dans la bande de longueurs d'onde de  $1,55 \mu\text{m}$  de la fibre optique, qui avait une dispersion nulle dans la bande de longueurs d'onde de  $1,3 \mu\text{m}$ , est d'environ  $+17 \text{ ps/km.nm}$ . La valeur absolue de la dispersion  $D_-$  d'une fibre DCOF utilisée pour la compensation de l'accumulation de la dispersion négative est normalement comprise entre 40 et 80  $\text{ps/km.nm}$ . En conséquence, on obtient la relation suivante :

$$35 \quad (1/D_+ - 1/D_-) > 0 \quad (12)$$

En outre, comme la longueur d'onde de dispersion nulle pour la dispersion de compensation de la ligne de transmission est normalement établie dans la bande de longueurs d'onde

centrale ou dans les bandes de longueurs d'onde plus grandes parmi les bandes de longueurs d'onde des signaux WDM, on a  $n/2 \leq l$ . En conséquence, dans le cas de la figure 2, on a

$$n - 1 \leq n/2 \leq k \quad (13)$$

5 et donc

$$n - 1 < k \quad (14)$$

D'après l'équation (10) on obtient la relation  $\Delta > 0$ . Il est alors manifeste que la longueur de la fibre DCOF, dans le premier mode de réalisation de l'invention (figure 11) est 10 inférieure à celle de la configuration de la technique antérieure représentée sur la figure 2. De même, pour la configuration du système représentée sur la figure 5, puisqu'on a la relation

$$n - (l + m) \leq l + m \quad (15)$$

15 l'équation (11) donne  $\Delta > 0$ . La longueur de la fibre DCOF du premier mode de réalisation de l'invention (figure 11) est alors plus courte que celle de la configuration de la technique antérieure illustrée par la figure 5.

20 Comme l'indiquent les résultats de la figure 14, le mode de réalisation considéré permet un raccourcissement des fibres optiques d'égalisation de dispersion placées aux côtés de l'émetteur et du récepteur même dans le cas où la longueur d'onde de dispersion nulle (longueur d'onde à laquelle la dispersion est nulle lorsque la compensation de 25 dispersion est réalisée dans la ligne de transmission) varie dans la plage des longueurs d'onde des signaux.

#### Variante du premier mode de réalisation

30 La figure 15A est un diagramme synoptique qui représente une configuration schématique d'un système de transmission optique WDM selon une variante du premier mode de réalisation. La figure 15B est une vue schématique du câble à fibre optique comprenant plusieurs segments utilisés dans le système de transmission optique WDM de la figure 15A, et 35 la figure 15C est un graphique indiquant la relation entre la dispersion cumulée en longueurs d'onde à la longueur d'onde centrale et les segments représentés sur la figure 15B.

Dans cette variante du premier mode de réalisation de l'invention, la fibre DCOF 312 ayant une amplitude de compensation de dispersion qui correspond à la dispersion d'un segment  $D_0$  de la ligne de transmission est connectée à une première extrémité du câble. En outre, la moitié du segment 313 représenté en trait interrompu sur la figure 15B est retirée de l'extrémité opposée et est connectée à la première extrémité par la fibre DCOF 312. Dans cette configuration, il n'existe aucun effet nuisible sur la symétrie bidirectionnelle de la dispersion cumulée de la ligne de transmission comme représenté plus en détail sur la figure 16. Ainsi, l'objet du premier mode de réalisation de l'invention s'applique à une configuration telle que représentée sur la figure 15A.

Dans le système de transmission optique WDM de la variante du premier mode de réalisation, les longueurs des fibres DCOF des unités d'émetteur et de récepteur à compensation de dispersion chromatique peuvent être réduites si bien que la dimension de l'ensemble du système de transmission optique WDM peut être réduite et il est plus rentable tout en améliorant les caractéristiques de transmission.

#### Second mode de réalisation

La figure 17 représente la configuration d'un exemple d'unité 300 à émetteur à compensation de dispersion chromatique dans un second mode de réalisation de l'invention. Sur la figure 17, les émetteurs optiques 111, 112,...11m partagent les fibres optiques à dispersion nulle à 1,3  $\mu\text{m}$  131 pour la compensation de la dispersion négative en longueur d'onde. Les émetteurs optiques 121,...12n partagent des fibres optiques 132 d'égalisation de dispersion négative pour la compensation de la dispersion positive en longueur d'onde.

D'abord, tous les émetteurs optiques 111, 112,...11m correspondant aux bandes de longueurs d'onde qui accumulent une dispersion négative sont collectés pour former un premier groupe de compensation de dispersion. Dans le premier groupe de compensation de dispersion, la fibre optique 131 à dispersion nulle à 1,3  $\mu\text{m}$  de longueur

convenable est raccordée à un premier émetteur optique 111 qui correspond à la longueur d'onde minimale et, le cas échéant, le signal de sortie de transmission est amplifié à une valeur convenable à l'aide d'un amplificateur optique 9.

5 Le signal de la seconde bande de longueurs d'onde minimale provenant du second émetteur optique 112 est combiné à mi-distance à l'aide de premiers coupleurs 151 avec le signal de bande de longueurs d'onde minimale, puisque l'amplitude de dispersion d'égalisation du signal de la seconde bande de

10 longueurs d'onde minimale est inférieure à celle de la bande de longueurs d'onde minimale. Le signal de la troisième bande de longueurs d'onde minimale provenant du troisième émetteur optique est combiné à mi-distance par des seconds coupleurs 151 au signal de la bande de longueurs d'onde minimale. De même, les autres bandes de longueurs d'onde des

15 autres émetteurs optiques (...11n) sont combinées à mi-distance par des coupleurs 151 avec le signal de bande de longueurs d'onde minimale et sont multiplexées ensemble. Les émetteurs optiques 121,...12n correspondant aux bandes de

20 longueurs d'onde relativement grandes qui accumulent une dispersion positive sont égalisées à l'aide des fibres optiques 132 d'égalisation de dispersion négative pour la formation d'un second groupe de compensation de dispersion.

Dans le second groupe de compensation de dispersion, le

25 signal de la seconde bande de longueurs d'onde maximale provenant du second émetteur optique est combiné à mi-distance par un premier coupleur 152 au signal de bande de longueurs d'onde maximale, car l'amplitude de dispersion d'égalisation du signal de la seconde bande de longueurs

30 d'onde maximale est inférieure à celle de la bande de longueurs d'onde maximale transmise par un premier émetteur optique 121. Le signal de la troisième bande de longueurs d'onde maximale provenant du troisième émetteur optique est combiné à mi-distance par un second coupleur 152 au signal

35 de la bande de longueurs d'onde maximale. De même, les autres bandes de longueurs d'onde provenant d'autres émetteurs optiques (...12n) sont combinées à mi-distance par des coupleurs 152 au signal de la bande de longueurs d'onde

maximal et multiplexées ensemble. Enfin, ces signaux sont multiplexés par les coupleurs 153, et les niveaux de longueurs d'onde sont ajustés le cas échéant à l'aide d'un amplificateur optique.

5 La figure 18 représente un exemple de configuration de l'unité 400 à récepteur à compensation de dispersion chromatique dans le second mode de réalisation de l'invention. Sur la figure 18, un premier groupe de multiplexage de compensation de dispersion partage les fibres optiques 10 (DCOF) 133 à dispersion nulle à  $1,3 \mu\text{m}$  pour la compensation de la dispersion négative en longueur d'onde. En outre, un second groupe de multiplexage de compensation de dispersion partage des fibres optiques (DCOF) 134 d'égalisation d'15 dispersion négative pour la compensation de la dispersion positive en longueur d'onde.

Dans l'unité 400 à récepteur à compensation d'20 dispersion chromatique, un signal multiplexé reçu subit d'abord une division dans les bandes respectives de longueurs d'onde par exemple par un premier démultiplexeur 23B qui a un dessin de guides d'onde formant un arrangement. Après division, les bandes de longueurs d'onde subissent une 25 égalisation de dispersion de la même manière que sur la figure 17. D'abord, tous les signaux divisés correspondant aux bandes de longueurs d'onde qui cumulent la dispersion négative sont collectés pour la formation du premier groupe de multiplexage de compensation de dispersion. Dans ce premier groupe, une fibre optique 133 à dispersion nulle à  $1,3 \mu\text{m}$  de longueur convenable est connectée à une ligne des 30 signaux qui transmet un signal optique correspondant à la longueur d'onde minimale et, le cas échéant, le signal divisé est amplifié à une valeur convenable par un amplificateur optique 29. Le signal de la seconde bande de longueurs d'onde minimale est combiné à mi-distance par des premiers coupleurs 156 au signal de la bande de longueurs 35 d'onde minimale, puisque l'amplitude de dispersion d'égalisation pour le signal de la seconde bande de longueurs d'onde minimale est plus petit que celui de la bande de longueurs d'onde minimale. Le signal de la troisième bande

de longueurs d'onde minimale est combiné à mi-distance par les seconds coupleurs 156 au signal de la bande de longueurs d'onde minimale. De même, les autres bandes de longueurs d'onde sont combinées à mi-distance par les coupleurs 156 au 5 signal de la bande de longueurs d'onde minimale et sont multiplexées ensemble. Au contraire, le signal divisé correspondant aux bandes de longueurs d'onde plus longues qui cumulent la dispersion positive est égalisé par les fibres optiques 134 d'égalisation de dispersion négative du 10 second groupe de multiplexage à compensation de dispersion. Dans le second groupe, le signal de la seconde bande de longueurs d'onde maximale est combiné à mi-distance par un premier coupleur 157 au signal de la bande de longueurs d'onde maximale, car l'amplitude de dispersion d'égalisation 15 du signal de la seconde bande de longueurs d'onde maximale est inférieure à la bande de longueurs d'onde maximale. Le signal de la troisième bande de longueurs d'onde maximale est combiné à mi-distance par un second coupleur 157 au signal de bande de longueurs d'onde maximale. De même, les 20 autres bandes de longueurs d'onde sont combinées à mi-distance par des coupleurs 157 au signal de bande de longueurs d'onde maximale et sont multiplexées ensemble. Enfin, ces signaux sont multiplexés par les coupleurs 158. Ensuite, le signal multiplexé ayant subi l'égalisation de 25 dispersion est divisé à nouveau par le second démultiplexeur 23B avant d'être reçu par le récepteur optique 271,... 27i,...27l. Ainsi, le signal subit une égalisation de dispersion à chaque longueur d'onde avant réception par les récepteurs optiques 271, 27i,...27l.

30 Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme de l'art aux systèmes qui viennent d'être décrits uniquement à titre d'exemple non limitatif sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Système de transmission optique à multiplexage en longueur d'onde destiné à la transmission bidirectionnelle de plusieurs signaux optiques ayant des bandes différentes de longueurs d'onde, caractérisé en ce qu'il comprend :
  - (a) un câble bidirectionnel à fibres optiques ayant deux fibres optiques, le câble comprenant plusieurs segments,
  - (b) une première fibre optique (7) à compensation de dispersion connectée à une première extrémité du câble et ayant une amplitude de compensation égale à la moitié de la dispersion d'un segment du câble,
  - (c) une seconde fibre optique (9) à compensation de dispersion connectée à une première extrémité du câble et ayant une amplitude de compensation égale à la moitié de la dispersion d'un segment du câble,
  - (d) une unité (300) à émetteur à compensation de dispersion chromatique destinée à compenser les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à chaque longueur d'onde des signaux, et
  - (e) une unité (400) à récepteur à compensation de dispersion chromatique destinée à compenser les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à fibre optique à chaque longueur d'onde des signaux.
2. Système de transmission optique à multiplexage en longueur d'onde destiné à la transmission bidirectionnelle de plusieurs signaux optiques ayant des bandes différentes de longueurs d'onde, caractérisé en ce qu'il comprend :
  - (a) un câble bidirectionnel à fibres optiques ayant deux fibres optiques, le câble comprenant plusieurs segments,
  - (b) une fibre optique à compensation de dispersion connectée à une première extrémité du câble et ayant une amplitude de compensation de la dispersion d'un segment du câble,

(c) une moitié du segment du câble à fibre optique étant connectée à une première extrémité du câble par la fibre optique de compensation de dispersion,

5 (d) une unité (300) à émetteur à compensation de dispersion chromatique destinée à compenser les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à chaque longueur d'onde des signaux, et

10 (e) une unité (400) à récepteur à compensation de dispersion chromatique destinée à compenser les dispersions chromatiques résiduelles cumulées provoquées par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à chaque longueur d'onde des signaux.

3. Système selon l'une des revendications 1 et 2,  
15 caractérisé en ce que l'unité (300) à émetteur à compensation de dispersion chromatique comprend :

plusieurs émetteurs optiques (1) qui émettent les signaux optiques ayant différentes bandes de longueurs d'onde,

20 un multiplexeur (5) qui combine les différentes bandes de longueurs d'onde, et

plusieurs compensateurs (41) de dispersion chromatique connectés entre les émetteurs optiques respectifs et le multiplexeur (5).

25 4. Système selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'unité (400) à récepteur à compensation de dispersion chromatique comprend :

un démultiplexeur (23) qui divise les signaux optiques multiplexés en différentes bandes de longueurs d'onde,

30 plusieurs récepteurs optiques (27) destinés à recevoir les signaux optiques divisés, et

plusieurs compensateurs (42) de dispersion chromatique connectés entre les récepteurs optiques respectifs et le démultiplexeur (23).

35 5. Système selon la revendication 3, caractérisé en ce que chaque compensateur de dispersion chromatique est une fibre optique à compensation de dispersion ayant une amplitude de compensation comprise entre 20 et 70 % de

l'amplitude totale de compensation de dispersion nécessaire à la dispersion en longueur d'onde provoquée par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à fibre optique.

5       6. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce que chaque compensateur de dispersion chromatique est une fibre optique à compensation de dispersion ayant un amplitude de compensation comprise entre 80 à 30 % de l'amplitude totale de compensation de dispersion nécessaire à la dispersion en longueur d'onde provoquée par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à fibre optique.

10      15     7. Système selon la revendication 3, caractérisé en ce que chaque compensateur de dispersion chromatique est une fibre optique à compensation de dispersion ayant une amplitude de compensation donnée par soustraction de la moitié de la dispersion d'un segment du câble de 20 à 70 % de l'amplitude totale de compensation de dispersion nécessaire à la dispersion en longueur d'onde provoquée par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à fibre optique.

20      25     8. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce que chaque compensateur de dispersion chromatique est une fibre optique à compensation de dispersion ayant une amplitude de compensation donnée par la somme de la moitié de la dispersion d'un segment du câble à fibre optique et de 80 à 30 % de l'amplitude totale de compensation de dispersion nécessaire pour la dispersion en longueur d'onde provoquée par la dispersion en longueur d'onde d'ordre supérieur du câble à fibre optique.

30      35     9. Système selon l'une des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que les fibres optiques de compensation de dispersion comprennent :

des fibres optiques ayant une dispersion nulle dans une bande de longueurs d'onde de 1,3  $\mu\text{m}$  pour des bandes de longueurs d'onde qui cumulent des dispersions négatives, et

des fibres optiques ayant une dispersion nulle dans la bande de longueurs d'onde de 1,5  $\mu\text{m}$  pour les bandes de longueurs d'onde qui cumulent des dispersions positives.

10. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'unité (300) à émetteur à compensation de dispersion chromatique comporte un premier groupe de compensation de dispersion ayant des bandes de longueurs d'onde qui cumulent une dispersion négative et un second groupe de compensation de dispersion ayant des bandes de longueurs d'onde qui cumulent une dispersion positive, et les bandes de longueurs d'onde du premier et du second groupe sont combinées par un coupleur.

11. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que le premier groupe de compensation de dispersion comporte :

un premier émetteur optique qui émet un premier signal optique ayant un signal de longueur d'onde minimale,

20 un second émetteur optique qui émet un second signal optique ayant un signal d'une seconde longueur d'onde minimale,

un troisième émetteur optique qui émet un troisième signal optique ayant un signal d'une troisième longueur d'onde minimale,

25 un premier coupleur qui combine le premier et le second signal optique,

un second coupleur qui combine le premier et le troisième signal optique,

30 une première fibre optique de compensation de dispersion ayant une dispersion nulle dans les bandes de longueurs d'onde de 1,3  $\mu\text{m}$ , connectée entre le premier émetteur optique et le premier coupleur, et

35 une seconde fibre optique de compensation de dispersion ayant une dispersion nulle pour les bandes de longueurs d'onde de 1,3  $\mu\text{m}$ , connectée entre le premier et le second coupleur.

12. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que le second groupe de compensation de dispersion comprend :

- un premier émetteur optique qui émet un premier signal optique ayant un signal de longueur d'onde maximale,
- 5        un second émetteur optique qui émet un second signal optique ayant un signal à une seconde longueur d'onde maximale,
- 10      un troisième émetteur optique qui émet un troisième signal optique ayant un signal à une troisième longueur d'onde maximale,
- 15      un premier coupleur (151) qui combine le premier et le second signal optique,
- 20      un second coupleur (152) qui combine le premier et le troisième signal optique,
- 25      une première fibre optique (131) de compensation de dispersion ayant une dispersion nulle dans les bandes de longueurs d'onde de 1,5 µm, connectée entre le premier émetteur optique et le premier coupleur, et
- 30      une seconde fibre optique (132) de compensation de dispersion ayant une dispersion nulle dans les bandes de longueurs d'onde de 1,5 µm, connectée entre le premier et le second coupleur.
- 35      13. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'unité (400) à récepteur à compensation de dispersion chromatique comprend :
- 25      un premier démultiplexeur (23B) qui divise les signaux optiques multiplexés dans différentes bandes de longueurs d'onde,
- 30      un premier groupe de multiplexage de compensation de dispersion qui combine les bandes de longueurs d'onde qui cumulent une dispersion négative,
- 35      un second groupe de multiplexage de compensation de dispersion qui combine les bandes de longueurs d'onde qui cumulent une dispersion positive,
- 40      un coupleur qui combine les bandes de longueurs d'onde du premier et du second groupe de combinaison de compensation,
- 45      un second démultiplexeur (23B) qui divise les bandes de longueurs d'onde combinées par le coupleur en différentes bandes d'longueurs d'onde, et

plusieurs récepteurs optiques destinés à recevoir les signaux optiques divisés par le second démultiplexeur.

14. Système selon la revendication 13, caractérisé en ce que le premier groupe de multiplexage de compensation de dispersion comprend :

un premier coupleur (156) qui combine un premier signal optique ayant un signal de longueur d'onde minimale et un second signal optique ayant un signal d'une seconde longueur d'onde minimale,

10 un second coupleur (157) qui combine le premier signal optique et un troisième signal optique ayant un signal d'une troisième longueur d'onde minimale,

une première fibre optique (133) de compensation de dispersion ayant une dispersion nulle dans des bandes de longueurs d'onde de 1,3  $\mu\text{m}$  pour la compensation de dispersion du premier signal optique, et

15 une seconde fibre optique (134) de compensation de dispersion ayant une dispersion nulle dans les bandes de longueurs d'onde de 1,3  $\mu\text{m}$ , connectée entre le premier et le second coupleur.

16. Système selon la revendication 13, caractérisé en ce que le second groupe de multiplexage de compensation de dispersion comprend :

un premier coupleur (156) qui combine un premier signal optique ayant un signal de longueur d'onde maximale et un second signal optique ayant un signal d'une seconde longueur d'onde maximale,

20 un second coupleur (157) qui combine le premier signal optique et un troisième signal optique ayant un signal d'une troisième longueur d'onde maximale,

une première fibre optique (133) de compensation de dispersion ayant une dispersion nulle dans les bandes de longueurs d'onde de 1,5  $\mu\text{m}$  pour la compensation de la dispersion du premier signal optique, et

25 une seconde fibre optique (134) de compensation de dispersion ayant une dispersion nulle dans les bandes de longueurs d'onde de 1,5  $\mu\text{m}$ , connectée entre le premier et le second coupleur.

**FIG. 1**  
**TECHNIQUE ANTERIEURE**

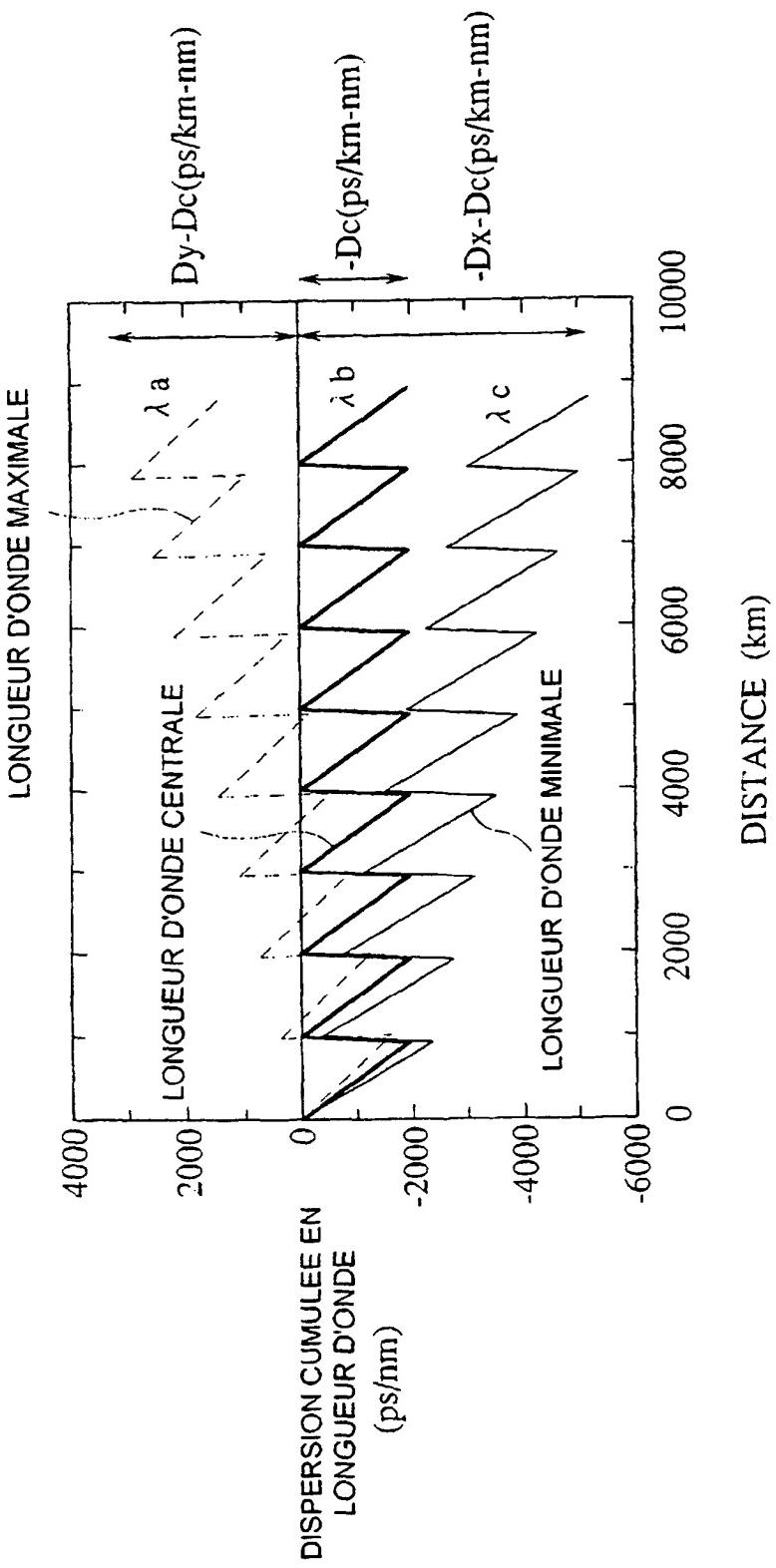
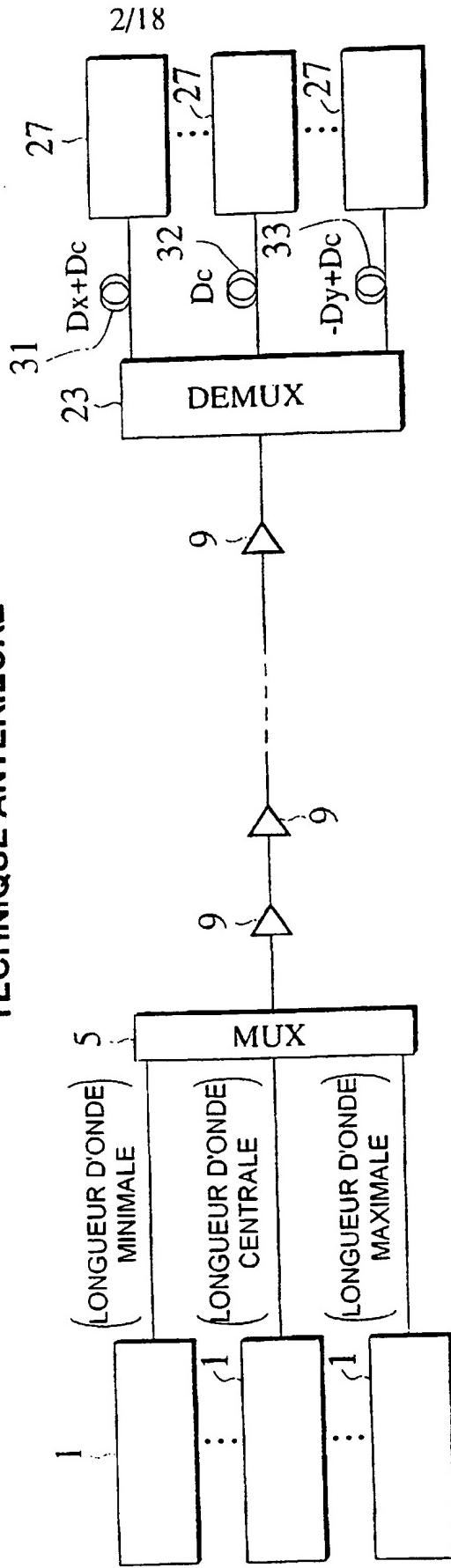
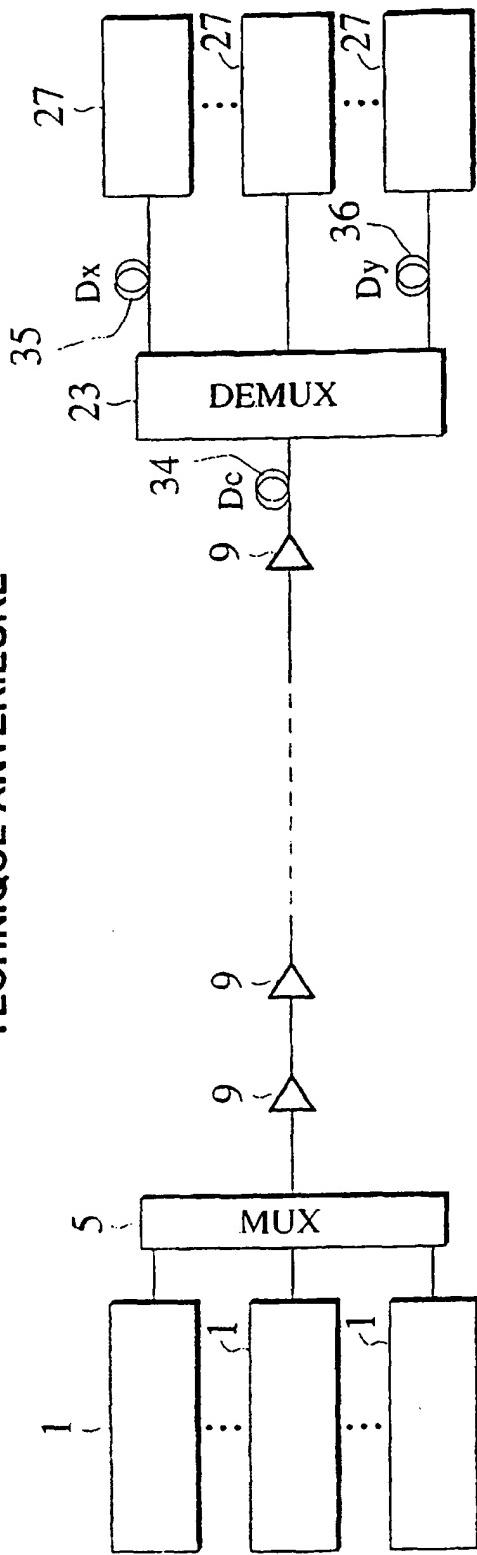


FIG.2  
TECHNIQUE ANTERIEURE



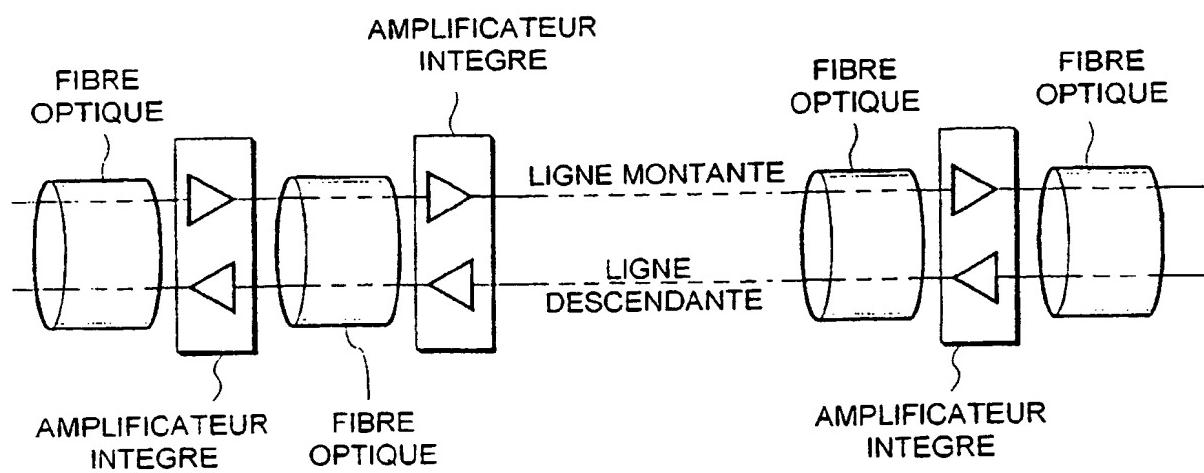
3/18

FIG.3  
TECHNIQUE ANTERIEURE



4/18

## FIG.4 TECHNIQUE ANTERIEURE



5/18

**FIG.5**  
**TECHNIQUE ANTERIEURE**

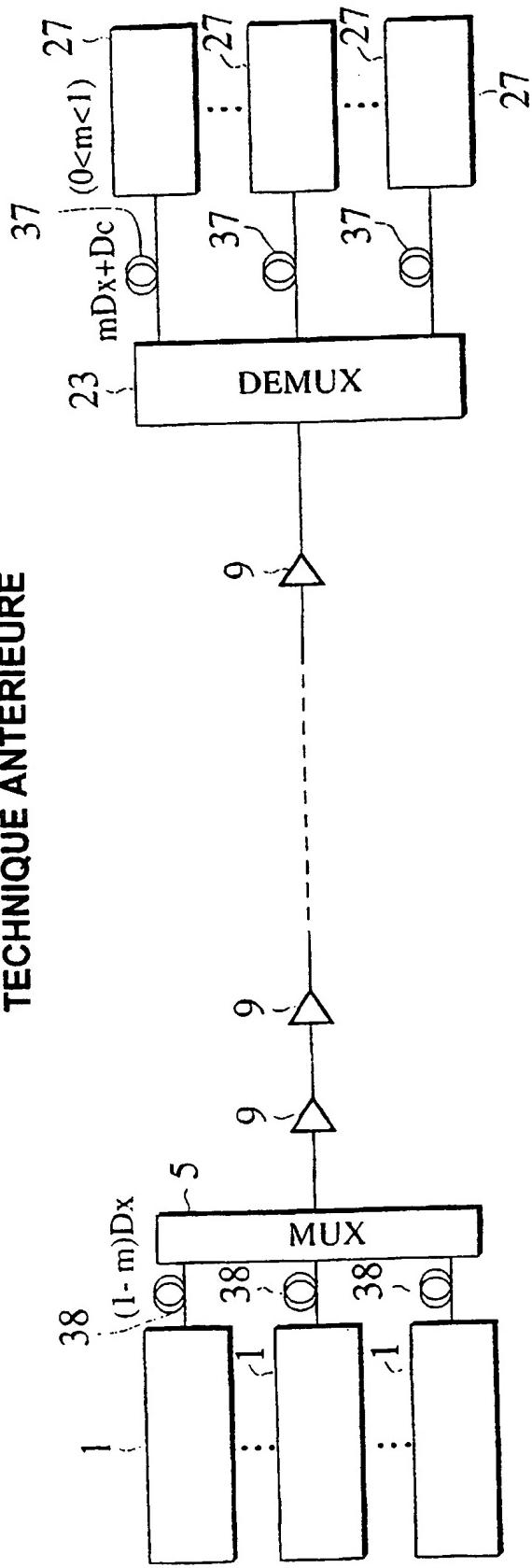
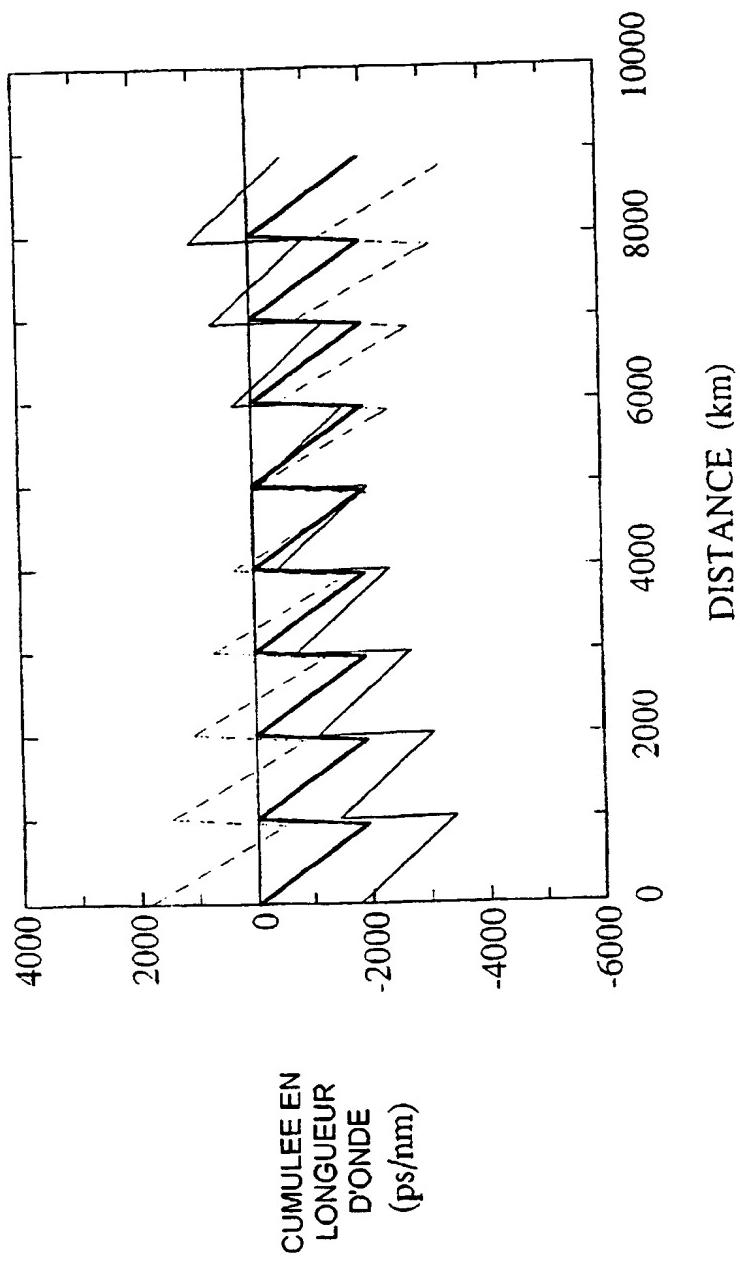
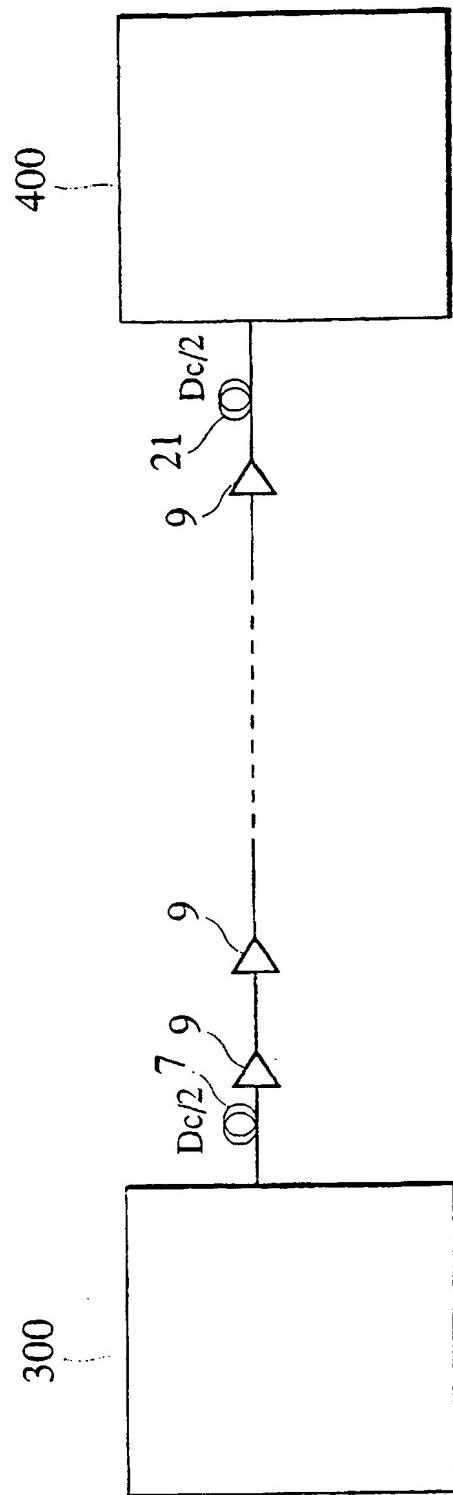


FIG.6  
TECHNIQUE ANTERIEURE

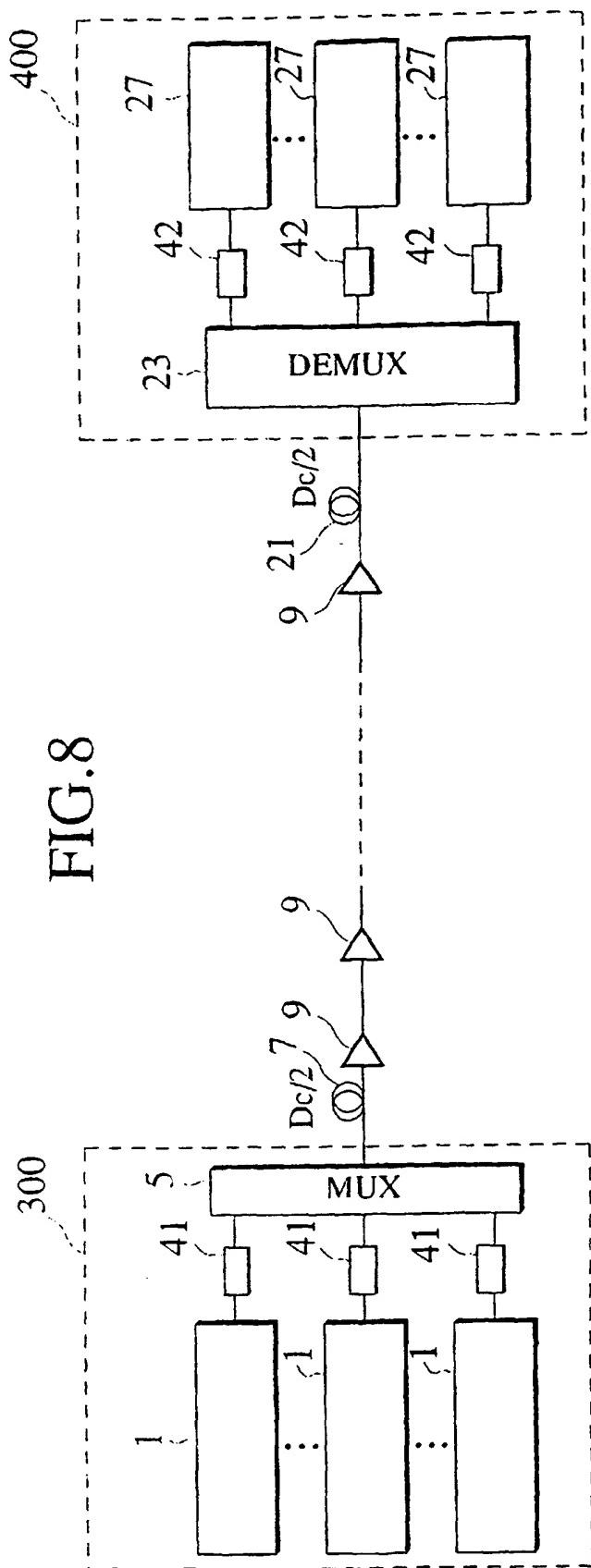


7/18

FIG.7



8/18



9/18

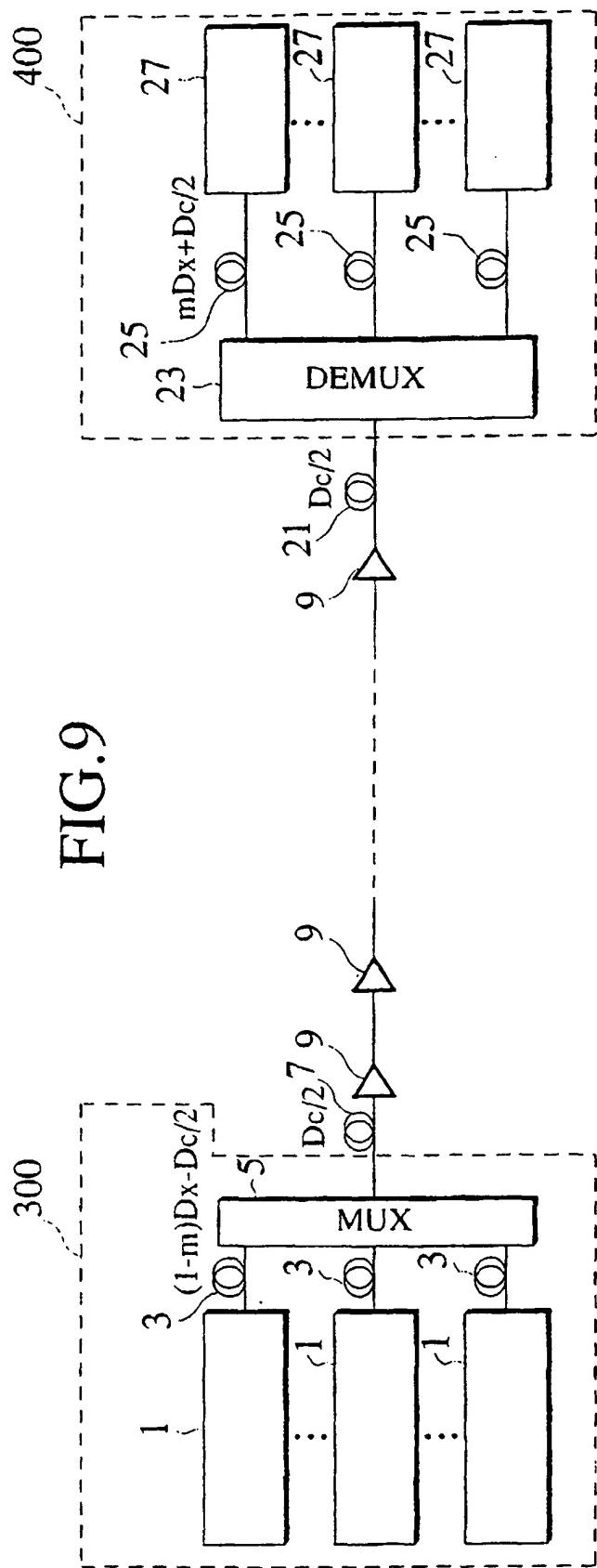
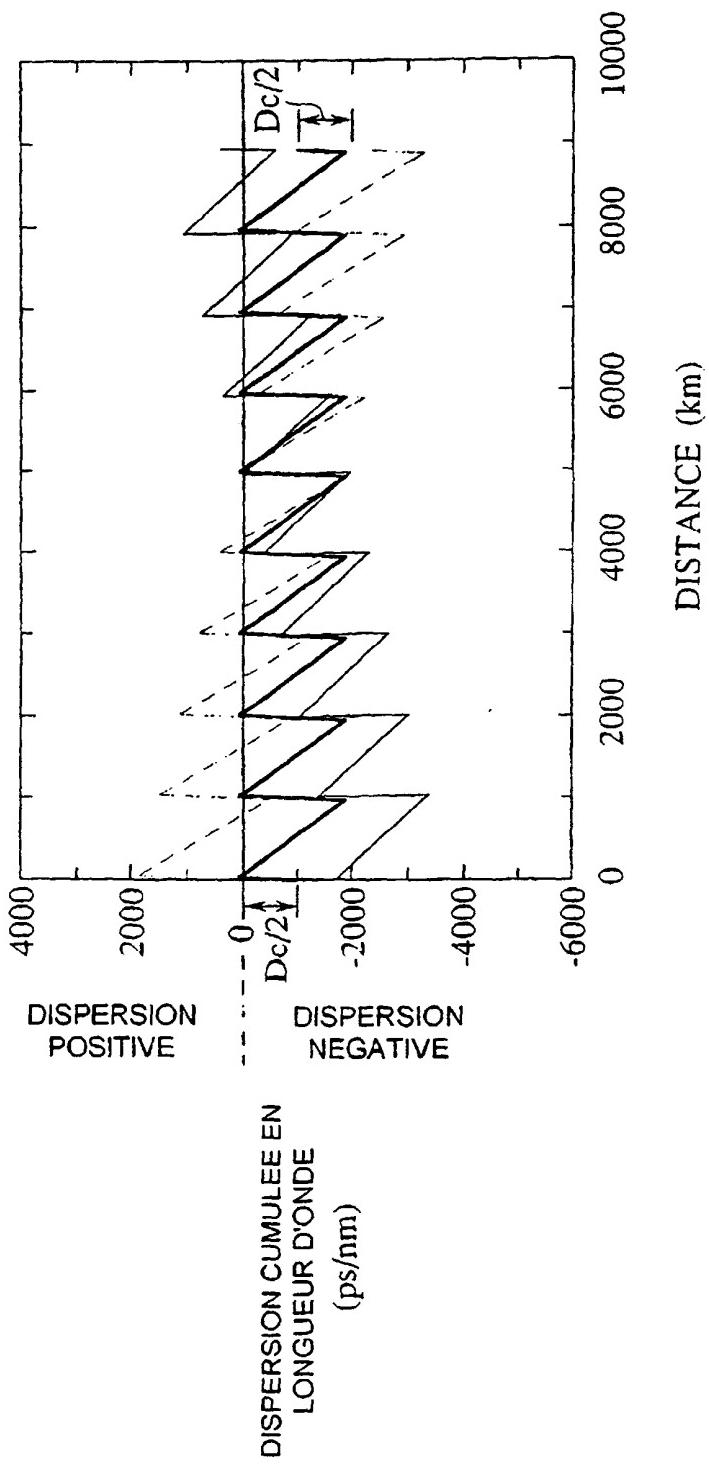


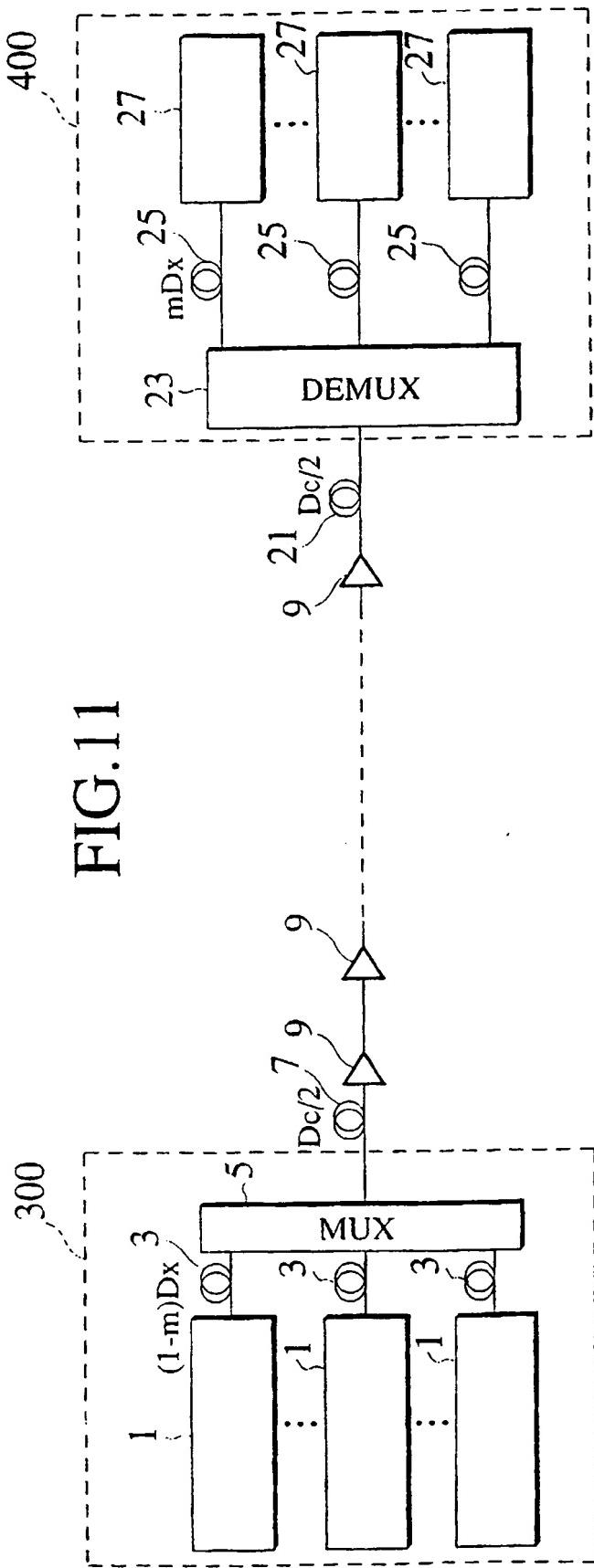
FIG.9

10/18

FIG.10

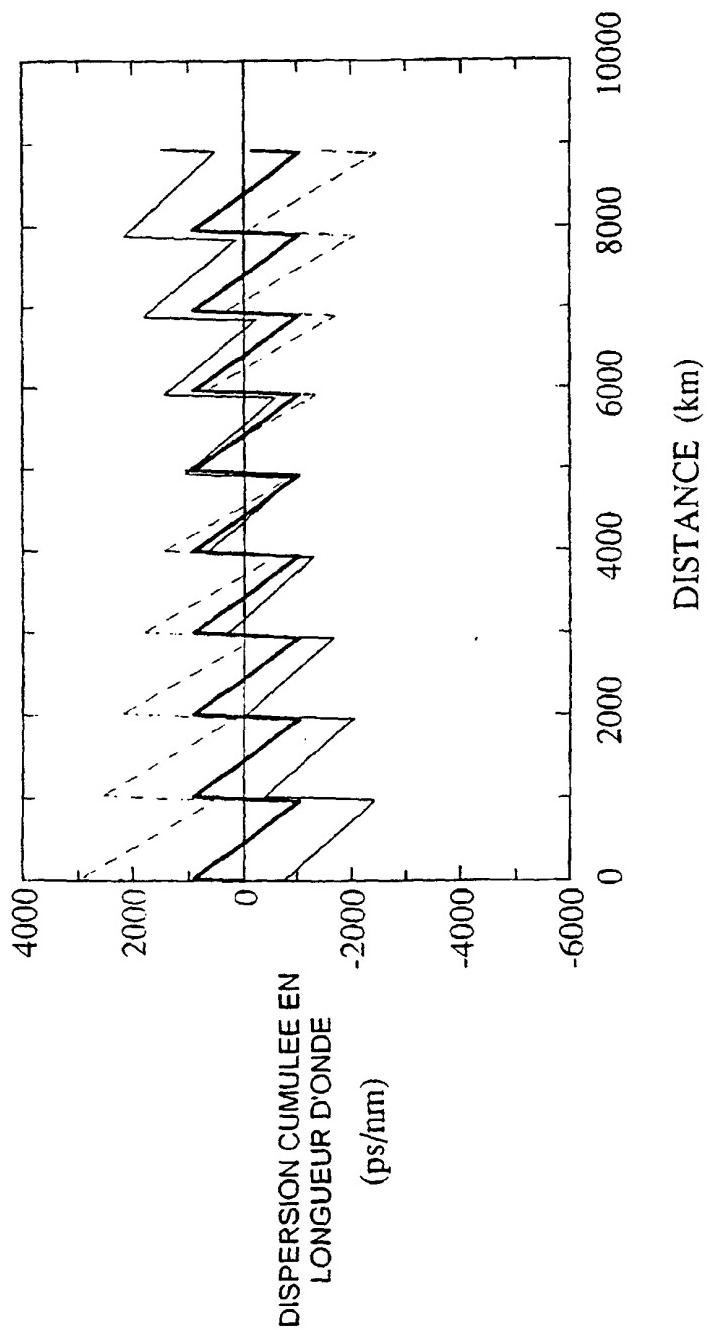


11/18



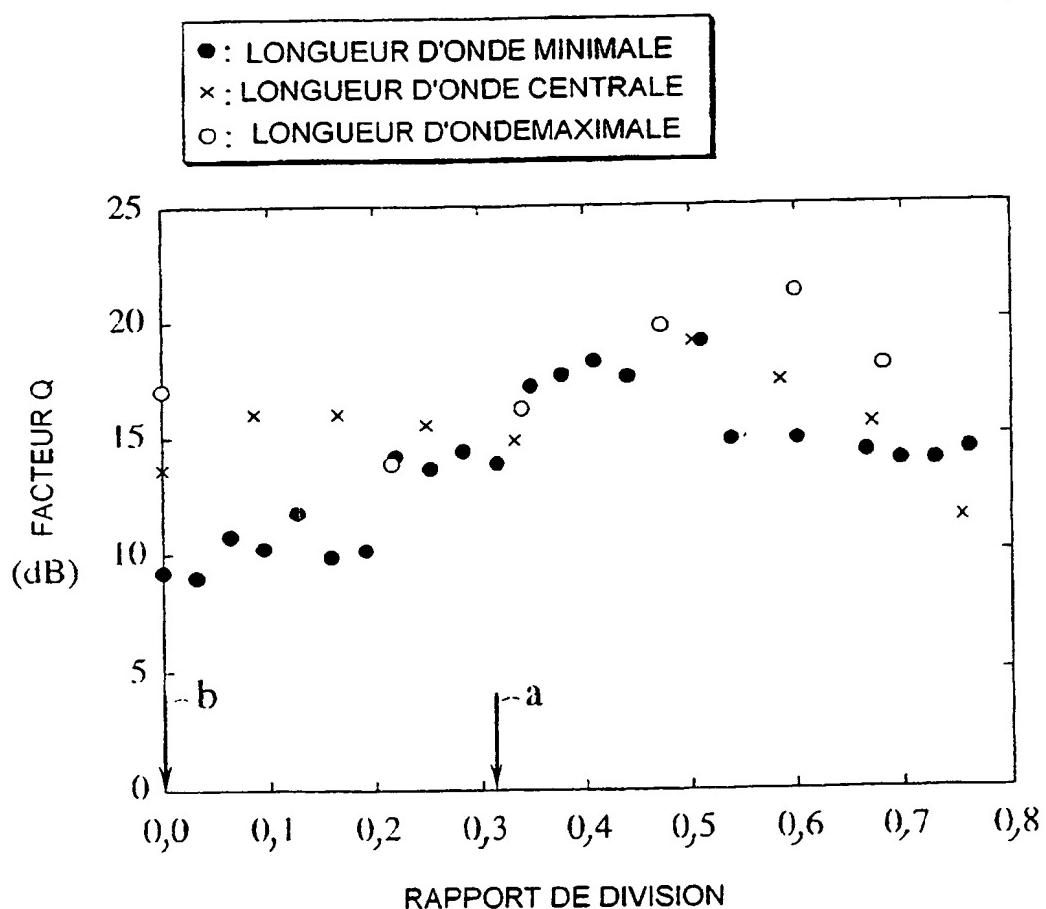
12/18

FIG.12



13/18

FIG.13



14/18

FIG.14

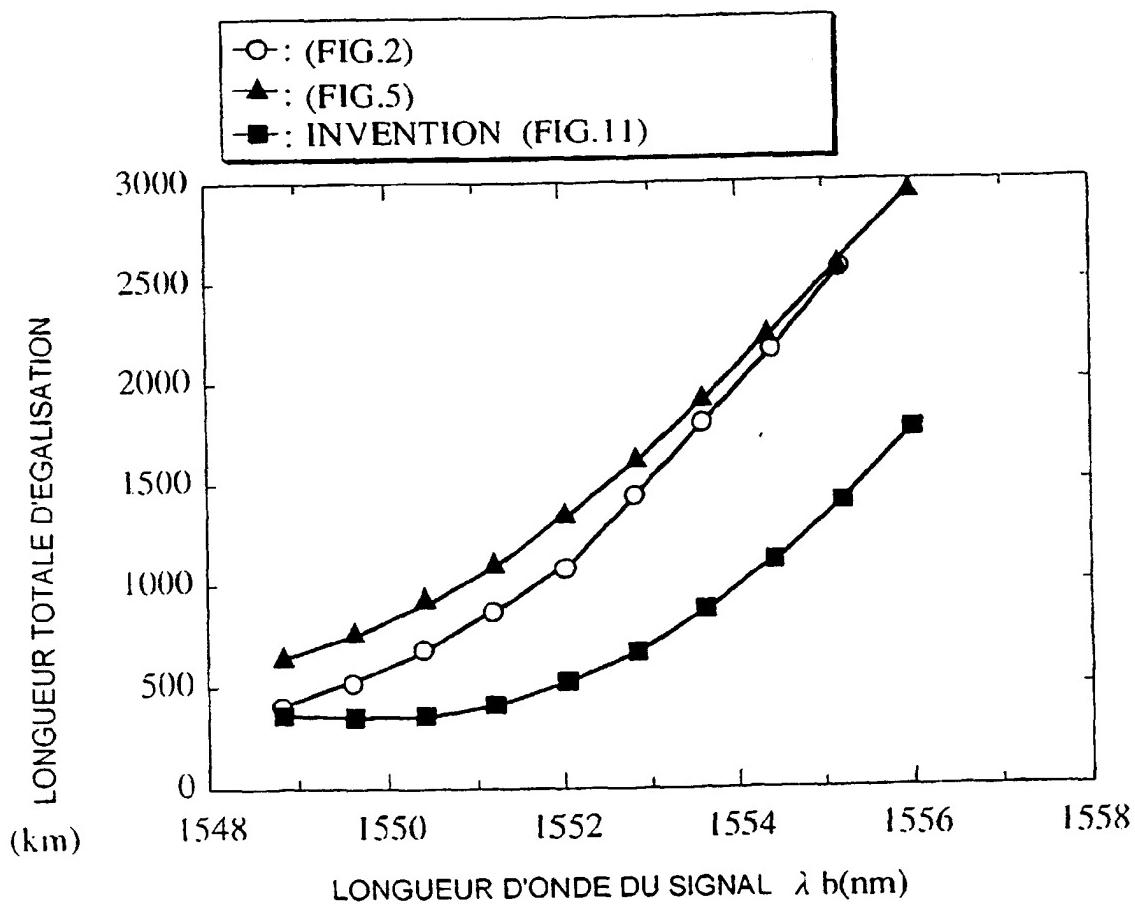


FIG.15A

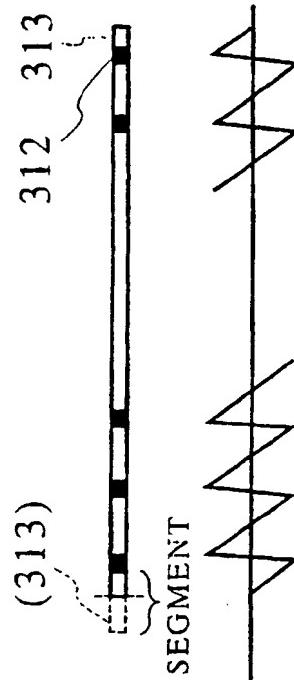
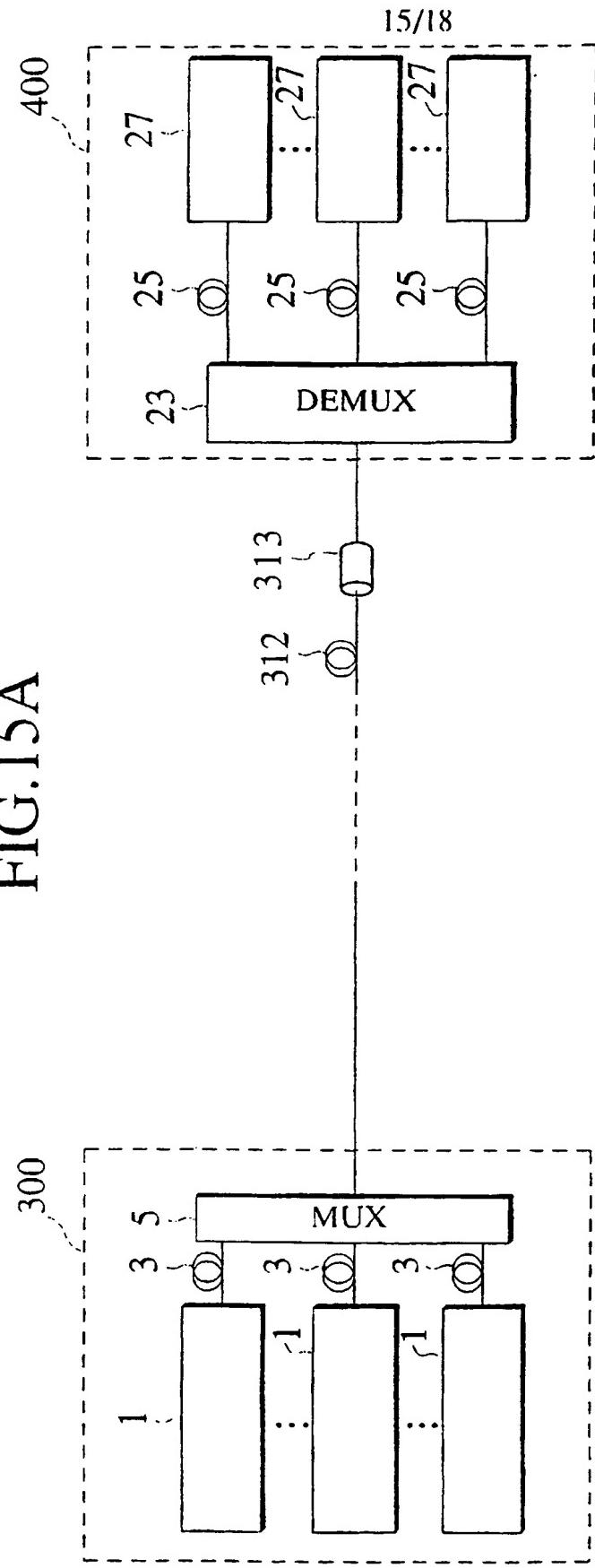


FIG.15B



FIG.15C

16/18

FIG.16

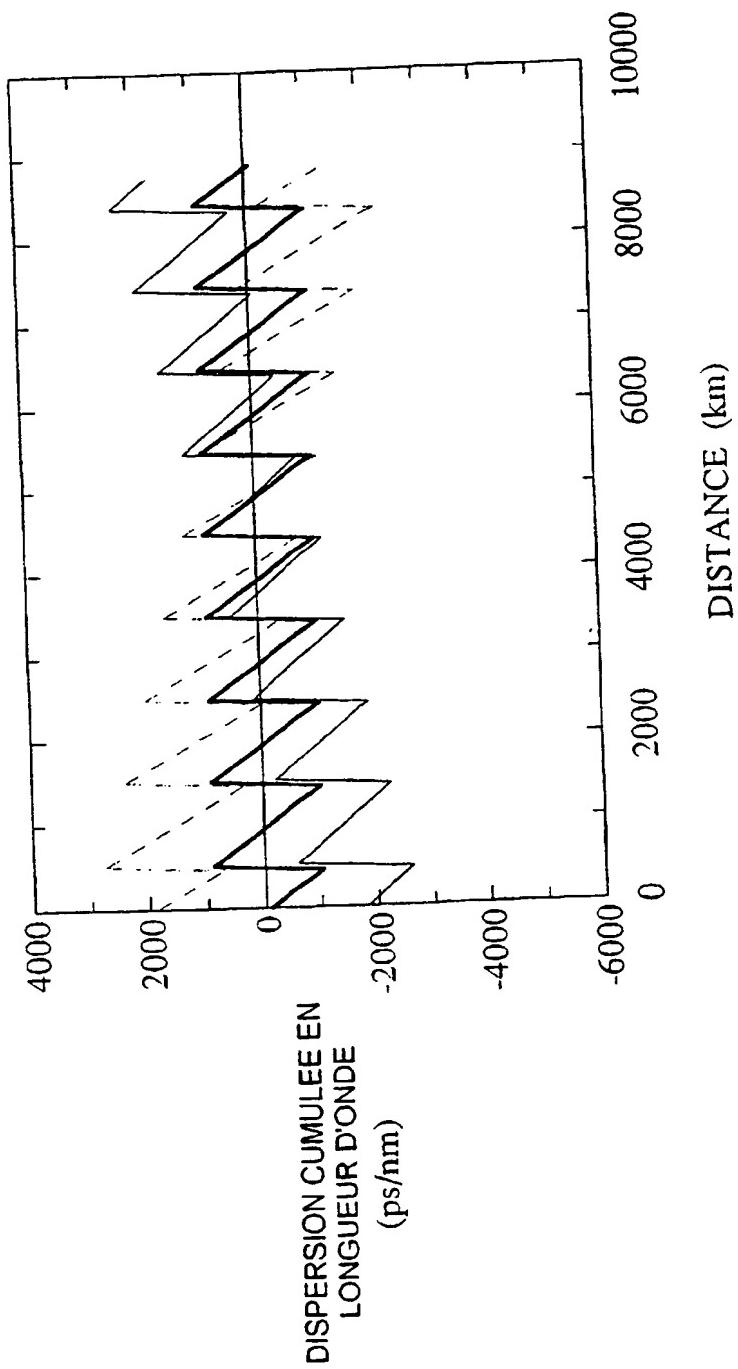
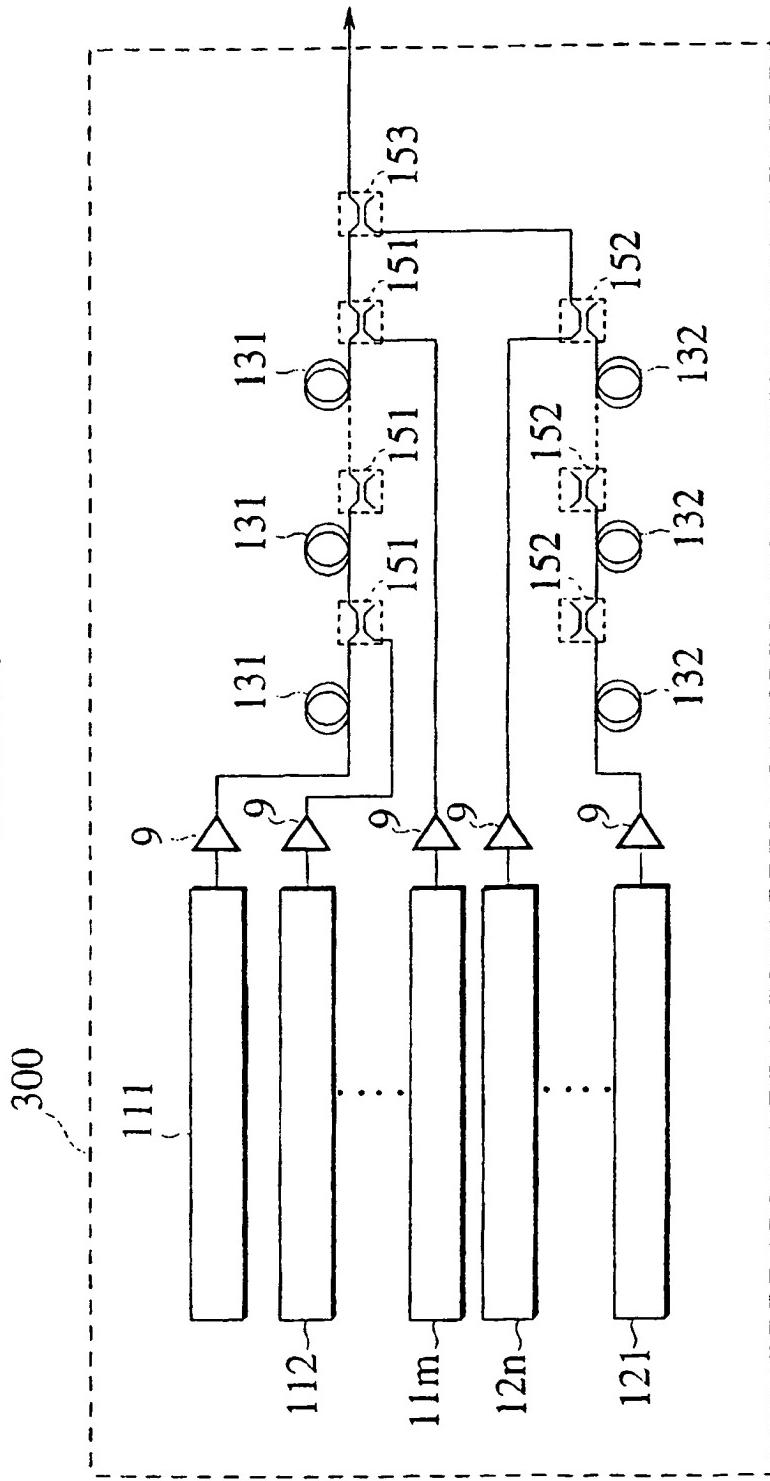


FIG.17



18/18

FIG.18

400

